

PAT-NO: JP02001197006A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001197006 A  
TITLE: WAVELENGTH MULTIPLEXING NETWORK  
PUBN-DATE: July 19, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SAKANO, TOSHIKAZU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>	N/A

APPL-NO: JP2000006858

APPL-DATE: January 14, 2000

INT-CL (IPC): H04B010/02, H04J014/00 , H04J014/02 ,  
H04Q003/52

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To increase the scale of a network easily at a low cost while sharing light sources at respective nodes as to HCN which makes HCN connections among plural nodes by using a WDM system and AWG.

SOLUTION: This network is equipped with a multiwavelength light source which outputs multiwavelength light having wavelength used by HCN and the multiwavelength light outputted from the multiwavelength light source is inputted from output ports of respective nodes. Each node is equipped with an optical multiplexer demultiplexer which demultiplexes

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-197006

(P2001-197006A)

(43)公開日 平成13年7月19日(2001.7.19)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード(参考)		
H 0 4 B	10/02	H 0 4 Q	3/52	C	5 K 0 0 2
H 0 4 J	14/00	H 0 4 B	9/00	U	5 K 0 6 9
	14/02			E	
H 0 4 Q	3/52				

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 19 頁)

(21)出願番号 特願2000-6858(P2000-6858)

(22)出願日 平成12年1月14日(2000.1.14)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 坂野 寿和

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

Fターム(参考) 5K002 BA04 BA05 BA21 CA13 DA02

DA03 DA05 FA01

5K069 AA18 BA09 CB10 DB33 EA21

EA24 EA25 EA27

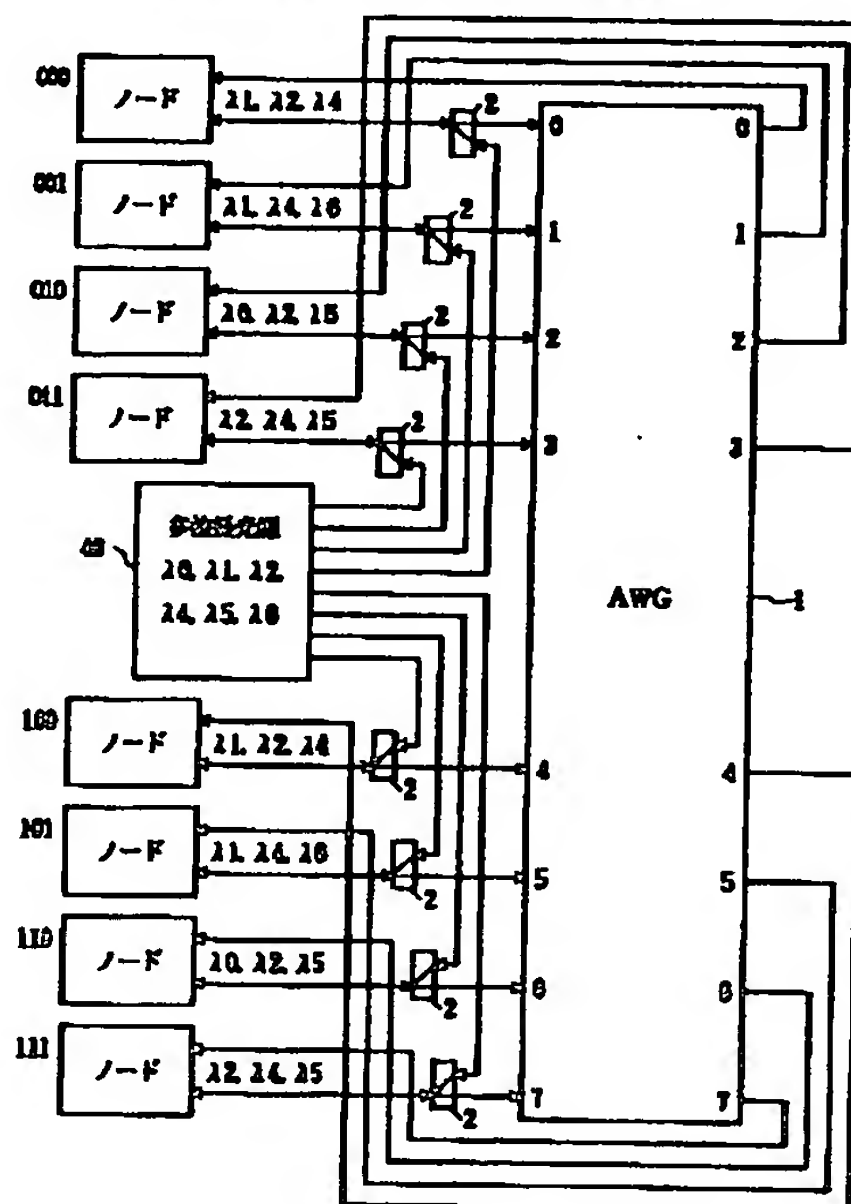
(54)【発明の名称】 波長多重ネットワーク

(57)【要約】

【課題】 WDM方式とAWGを用いて複数のノード間をHCN接続するHCNにおいて、各ノードの光源の共有化を図りながら、容易かつ安価にネットワークの大規模化を可能にする。

【解決手段】 HCNで使用する波長の多波長光を出力する多波長光源を備え、多波長光源から出力される多波長光を各ノードの出力ポートから入力する。各ノードでは、入力される多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光を分波する光合分波器と、各波長の無変調光を送信信号により変調して折り返す反射型光変調器を備え、各反射型光変調器から出力された波長信号光を光合分波器で合波して波長多重信号光として送信する。

本発明の波長多重ネットワークの第1の実施形態



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の波長信号光を合波して波長多重信号光として送信する光送信部と、波長多重信号光を複数の波長信号光に分波して受信する光受信部とを有する複数のノードと、

複数の入力ポートと複数の出力ポートを有し、各入力ポートから入力された波長多重信号光を互いに異なる出力ポートに分波し、複数の入力ポートから入力された互いに異なる波長の信号光を各出力ポートに合波して出力する波長多重分離素子とを備え、

前記波長多重分離素子を介して、前記複数のノードのうち2進表示したノード番号の1ビットのみが異なるノード同士をハイパーキューブネットワーク接続（以下「HCN接続」という）する波長多重ネットワークにおいて、

前記波長多重ネットワークで各ノードからの送信に使用する波長の無変調光を合波した多波長光を出力する多波長光源と、

前記多波長光を前記各ノードの出力ポートに接続するとともに、前記各ノードの出力ポートから送信された波長多重信号光を前記多波長光から分離して前記波長多重分離素子の所定の入力ポートに接続する光分岐手段とを備え、

前記各ノードの光送信部に、入力される前記多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光を分波する光合分波器と、各波長の無変調光を送信信号により変調して折り返す反射型光変調器とを備え、各反射型光変調器から出力された波長信号光を前記光合分波器で合波して前記波長多重信号光として送信する構成であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項2】 複数の波長信号光を合波して波長多重信号光として送信する光送信部と、波長多重信号光を複数の波長信号光に分波して受信する光受信部とを有する複数のノードと、

複数の入力ポートと複数の出力ポートを有し、各入力ポートから入力された波長多重信号光を互いに異なる出力ポートに分波し、複数の入力ポートから入力された互いに異なる波長の信号光を各出力ポートに合波して出力する波長多重分離素子とを備え、

前記波長多重分離素子を介して、前記複数のノード同士をHCN接続する波長多重ネットワークにおいて、

前記波長多重ネットワークで各ノードからの送信に使用する波長の無変調光を合波した多波長光を出力する多波長光源と、

前記多波長光を前記各ノードの出力ポートに接続するとともに、前記各ノードの出力ポートから送信された波長多重信号光を前記多波長光から分離し、かつHCN接続のための所定の組み合わせでそれぞれ結合し、前記波長多重分離素子の所定の入力ポートに接続する光分岐・結合手段と、

前記波長多重分離素子の出力ポートから出力される波長多重信号光を複数の分岐し、HCN接続のための所定の組み合わせの複数のノードに接続する光分岐手段とを備え、

前記各ノードの光送信部に、入力される前記多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光を分波する光合分波器と、各波長の無変調光を送信信号により変調して折り返す反射型光変調器とを備え、各反射型光変調器から出力された波長信号光を前記光合分波器で合波して前記波長多重信号光として送信する構成であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項3】 複数のノードがHCN接続された複数のサブハイパーキューブネットワークをHCN接続する波長多重ネットワークにおいて、

前記ノードは、前記サブハイパーキューブネットワーク間のHCN接続に用いる波長多重信号光を送信する光送信部と、前記サブハイパーキューブネットワーク間の接続に用いる波長多重信号光を受信する光受信部とを備え、

前記サブハイパーキューブネットワークは、複数の入力ポートと複数の出力ポートを有し、各入力ポートから入力された波長多重信号光を互いに異なる出力ポートに合波する波長多重分離素子を他のサブハイパーキューブネットワークに対する出力用および入力用に2個備え、前記サブハイパーキューブネットワーク内の各ノードから他のサブハイパーキューブネットワークに送信する波長多重信号光を前記出力用の波長多重分離素子の各入力ポートに接続し、前記入力用の波長多重分離素子の各出力ポートから出力された波長多重信号光を各ノードに接続し、

HCN接続となるサブハイパーキューブネットワーク間で、前記各サブハイパーキューブネットワークの前記出力用の波長多重分離素子の各出力ポートと前記入力用の波長多重分離素子の各入力ポートを接続する構成に加え、

前記波長多重ネットワークの前記各サブハイパーキューブネットワーク間の接続に使用する波長の無変調光を合波した多波長光を出力する多波長光源と、

前記多波長光を前記出力用の波長多重分離素子の出力ポートから入力して前記各ノードの出力ポートに接続するとともに、前記出力用の波長多重分離素子の出力ポートから出力される波長多重信号光を前記多波長光から分離し、HCN接続する他のサブハイパーキューブネットワークの入力用の波長多重分離素子の入力ポートに接続する光分岐手段とを備え、

前記各ノードの光送信部に、入力される前記多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光を分波する光合分波器と、各波長の無変調光を送信信号により変調して折り返す反射型光変調器とを備え、各反射型光変調器から出力された波長信号光を前記光合分波器で合波して

前記波長多重信号光として送信する構成であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかに記載の波長多重ネットワークにおいて、

前記多波長光源は各ノードからの送信に使用する波長を含む白色光を出力し、前記光分岐手段を介して前記白色光を前記波長多重分離素子の出力ポート側から入力し、各入力ポートから各波長の無変調光を合波した多波長光を出力して各ノードに供給する構成であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項5】 請求項3に記載の波長多重ネットワークにおいて、

前記ノードは、前記サブハイパーキューブネットワーク内でHCN接続するための（以下「内向き用」という）波長多重信号光と、前記サブハイパーキューブネットワーク間をHCN接続するための（以下「外向き用」という）波長多重信号光を合波して送信する光送信部と、前記内向き用の波長多重信号光と前記外向き用の波長多重信号光を分波して受信する光受信部とを備え、

前記サブハイパーキューブネットワークは、前記ノードから送信された前記内向き用および前記外向き用の波長多重信号光を分波し、前記内向き用にHCN接続するための波長多重分離素子と前記出力用の波長多重分離素子に接続する群分波器と、前記内向き用にHCN接続するための波長多重分離素子と前記入力用の波長多重分離素子から入力する前記内向き用および前記外向き用の波長多重信号光を合波して前記各ノードに接続する群合波器とを備え、

前記外向き用のHCN接続に使用する波長の無変調光を合波した多波長光を出力する前記多波長光源の他に、前記内向き用のHCN接続に使用する波長の無変調光を合波した多波長光を出力する多波長光源と、

前記内向き用の多波長光を前記各ノードの出力ポートに接続するとともに、前記各ノードの出力ポートから送信された波長多重信号光を前記多波長光から分離して前記群分波器に接続する光分岐手段とを備えたことを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項6】 請求項5に記載の波長多重ネットワークにおいて、

前記光分岐手段は、前記外向き用および前記内向き用の多波長光を前記各ノードの出力ポートに接続するとともに、前記各ノードの出力ポートから出力される波長多重信号光を前記多波長光から分離して前記群分波器に接続する構成であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項7】 請求項3～6のいずれかに記載の波長多重ネットワークにおいて、

前記サブハイパーキューブネットワークは、波長多重信号光を時間多重された単一波長の信号光に変換して出力する波長多重・時間多重変換回路と、時間多

重された単一波長の信号光を波長多重信号光に変換して出力する時間多重・波長多重変換回路とを備え、

前記出力用の波長多重分離素子の各出力ポートに前記波長多重・時間多重変換回路を接続し、前記外向き用の波長多重分離素子の各出力ポートから出力された波長多重信号光をそれぞれ時間多重された互いに異なる単一波長の信号光に変換し、それを波長多重して出力する波長多重回路を備え、

外部から入力される波長多重信号光を波長分離し、それぞれ時間多重された互いに異なる単一波長の信号光として前記時間多重・波長多重変換回路に入力する波長分離回路を備え、

前記各回路を備えたサブハイパーキューブネットワークを請求項3～5のいずれかに記載の波長多重ネットワークのノードとして用いてハイパーキューブネットワークを構成することを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項8】 請求項3～7のいずれかに記載の波長多重ネットワークにおいて、

HCN接続となるサブハイパーキューブネットワーク間で、前記各サブハイパーキューブネットワークの前記出力用の波長多重分離素子の各出力ポートと前記入力用の波長多重分離素子の各入力ポートを接続する際に、前記波長多重分離素子の各出力ポートおよび各入力ポートに接続する複数の光ファイバを集線する多芯光ファイバケーブルを備え、

前記各サブハイパーキューブネットワークに接続された前記多芯光ファイバケーブルの他端を1箇所に集めてその芯線をHCN接続し、

前記多芯光ファイバケーブルを介して前記多波長光を各ノードに送信する構成であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項9】 請求項3～8のいずれかに記載の波長多重ネットワークにおいて、

前記サブハイパーキューブネットワークは、請求項1または請求項2に記載の波長多重ネットワークにより構成されたことを特徴とする波長多重ネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重技術と周回性波長多重分離素子（例えば、アレイ導波路回折格子型フィルタ（AWG））を用いてハイパーキューブネットワークを構成することにより高スループット、フォールトトレラントなネットワークを実現する波長多重ネットワークにおいて、各ノードに配置される光源を複数のノードで共有化するネットワーク構成法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、パーソナルコンピュータの普及と高速光通信技術の発展を背景として、インターネットをはじめとするネットワーク利用が急速に進んでいる。オフィスでは、事務連絡が電子メールでなされるなど社内



業務のネットワーク化が進んでいる。また、家庭においても電子メールやインターネットが外部との連絡や銀行の残高照会、電子ショッピングなどに利用されはじめている。このように生活のあらゆるシーンでのネットワーク利用が進展するにつれて、通信ネットワークには益々の大容量化が求められている。

【0003】通信ネットワークは接続端子数、伝送距離など規模によって分類がなされている。まずビル内、工場内、オフィス内、キャンパス内など比較的小さな領域でコンピュータ端末などを相互接続するためのネットワークとしてのLAN (Local Area Network) がある。ネットワーク規模が地域、都市などの領域に広がったネットワークは、WAN (Wide Area Network) またはMAN (Metropolitan Area Network) などと呼ばれている。さらに、国内あるいは世界中を対象としたネットワークとして広域ネットワークなどが考えられている。これらのネットワークは単独で存在することは少なく、相互に接続されて世界中に広がる巨大なネットワークを構成している。

【0004】通信ネットワークは、複数の通信ノードと通信ノード間を接続する伝送路から構成されている。通信ノードは複数の入出力端子を持ち、入力された信号を所望の出力先に出力するためのスイッチング機能を持つ。また、伝送路はノード間の通信を確保する。ネットワークを高速化するためには、伝送路として光ファイバを用いた光通信方式の適用が有効である。光ファイバを用いた光通信方式の適用により、従来のメタルケーブルを用いた場合に比べて伝送容量、伝送距離を飛躍的に大きくすることが可能となった。

【0005】光通信方式には、主に光時分割多重通信方式 (TDM) と光波長多重通信方式 (WDM)、さらに光ファイバを多芯化して信号を送受信する空間多重通信方式 (SDM) がある。TDM方式は複数の電気信号を時間軸上で多重化し高速な光信号に変換して光ファイバに入力する。受信端では受信光信号を電気信号に変換してもとの複数の信号に分離して出力する。光通信方式で一般的に用いられる近赤外光は数百テラヘルツの電磁波であり、テラヘルツオーダーの変調信号を生成することが原理的に可能である。実験室レベルでは数百ギガビット毎秒、実用化レベルでは40ギガビット毎秒の光時分割多重通信が既に実現されている。

【0006】WDM方式は、複数の電気信号を互いに異なる波長を有する複数の変調信号光に変換して、1本の光ファイバで伝送する方式である。光受信端では、光フィルタを用いて波長ごとに信号光を分離し、それぞれ電気信号に変換して出力する。波長多重通信方式は、光時分割多重通信方式にくらべて各変調信号光の信号速度がそれほど小さくなくても大容量通信が可能なので、電気回路への負担が小さいという特徴がある。そのため、波長多重通信方式をベースとしたネットワーク構成法が最

近活発に研究開発されている。

【0007】WDM方式を用いたネットワーク構成法の一つとして、WDM方式とアレイ導波路回折格子型フィルタ (以下「AWG」という) を用い、効率的なネットワーク構成として知られているハイパーキューブネットワーク (以下「HCN」という) を実現する提案がなされている。

【0008】図18は、WDM方式とAWGを組み合わせてHCNを実現する従来例を示す。この従来例は、特開平8-242208号公報 (ハイパーキューブ型インターコネクションネットワーク) に開示されている構成である。図19は、8ノードによるHCNの構成を示す。

【0009】図において、8個のノードをそれぞれに付与されるアドレス000~111で表示する。ノード000~111は、それぞれ送受信部51、光合波器52および光分波器53を有する。ノード000~111の入出力光リンクは、AWG1の入出力ポート0~7に順番に接続される。すなわち、ノード000とAWG1の入力ポート0および出力ポート0が接続され、以下同様にノード111とAWG1の入力ポート7および出力ポート7が接続される。

【0010】図20は、AWGの入出力ポート間の信号波長および各入出力ポートに接続されるノードの関係を示す。8入力8出力のAWGは、入力ポート0に入力された波長 $\lambda_0 \sim \lambda_7$ の信号光を出力ポート0~7に分波し、入力ポート1に入力された波長 $\lambda_0 \sim \lambda_7$ の信号光を出力ポート7, 0~6に分波し、以下同様に波長と出力ポートがサイクリックにシフトする。すなわち、入力された8波長をそれぞれ異なる出力ポートから出力するとともに、各出力ポートには各入力ポートからの互いに異なる波長の信号光が波長多重して出力される。AWGのこのような性質を周回性と呼び、このような素子を一般的に周回性波長多重分離素子という。なお、本明細書ではAWGを中心に説明するが、AWGに限定されるものではない。

【0011】ここで、HCNについて簡単に説明する。HCNは、 $2^n$  ( $n$ は正整数) 個のノードを接続するためのネットワーク構成法の1種で、ノード番号を2進数 (ノード数が $2^n$  ( $n$ は正整数) 個のときは $n$ ビットの2進数となる) で表したときに、ノード番号の1ビットだけが反転しているノード同士を接続するものである。例えば、ノード数が8の場合のHCNでは、ノード000とノード001、010、100を接続すればよく、図20からそのときの使用波長を $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$ とすればよいことがわかる。すなわち、図18に示すように、ノード000の光合波器52で合波された波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$ の光信号をAWG1の入力ポート0に入力すると、出力ポート1, 2, 4に分波され、それぞれノード001, 010, 100に入力される。他のノードについて

も同様である(図20中にハッチングで示す)。図19は、このような接続規則でノード同士を接続した様子を示す。図から、立方体の角にノードを配置したような構成となっていることがわかる。ちなみに、 $n$ をHCNの次数と言い、8個のノードからなるHCNは3次HCNと呼ばれる。

【0012】さて、以上の規則でノード間を接続するHCNは種々の利点があることが報告されている。まず、多数のノードを相互接続するときの配線数を少なくすることができる。 $n$ 次HCN(ノード数 $N=2^n$ 個)を実現するための総配線数 $M$ は、 $M=n \cdot 2^n$ 個となる。一方、例えば $N$ 個のノードを完全結合した場合の総配線数 $T$ は $T=N^2$ となる。ここで、 $M < T$ であるので、総ノード数が多くなるとHCNが総配線数の点で有利になる。

【0013】次に、平均ホップ数(所望のノードに到達するまでに経由するノード数)を小さくできる。HCNの最大ホップ数は $n$ であるが、例えばメッシュネットワークでは $2\sqrt{N}$ ( $N$ は総ノード数)となり、ノード数が多くなるとやはりHCNが有利となる。

【0014】次に、ルーティングの単純さとネットワークのフレキシビリティである。各ノードのルーティングは、送られてきた信号の宛先ノード番号を自分のノード番号と比較し、同一の場合には自分のノードで取り込むし、異なる場合には自分のノードが接続されているノードのうち、そのノード番号が宛先ノード番号と比較してビットが反転しているノードへ転送してやれば良い。また、図19からもわかる通り、任意ノード間で信号転送を行う際の経路は一通りではないので、どこかの配線が切れても他の経路を迂回するように制御することもできる。また、各ノードは複数のノードに接続されているが、同じ宛先ノードの信号を複数の配線に分割して転送することにより、信号転送のスループットを大きくすることもできる。

【0015】このようにHCNは種々の利点があり、主に並列計算機におけるプロセッサ間あるいはプロセッサ-メモリ間の接続ネットワークとして適用されてきた。ただし、実際のネットワークへHCNを適用しようとすると、配線が複雑になるという問題があった。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】従来のWDM方式とAWGを組み合わせたHCNでは、HCNの次数を大きくしてネットワーク規模を大きくしようとすると、AWGの入出力ポート数も大きくする必要があった。しかし、AWGのポート数を多くすることは容易でなく、現状技術で実現できるポート数は高々32ポートである。したがって、従来方式では5次HCNまでしか実現できないことになる。

【0017】また、上記の特開平8-242208号公報(ハイパーキューブ型インターコネクションネットワ

ーク)では、拡張性を確保するためにAWGの入出力ポートの一部を拡張用を利用する構成も提案されているが、AWGの入出力ポート数が前述のように有限であることから大規模なHCNを実現することは困難であった。また、入出力ポート数が大きくなるとAWGの製作も難しくなるため高価になる問題もある。

【0018】また、上記のHCNでは、各ノードがハイパーキューブの次数分だけの光源をもつ必要があった。図18に示す3次のHCNの構成では、各ノードがそれぞれ割り当てられた3波長分の光源をもつ必要があった。このようなノードに用いる光源は、あらかじめ設計された波長を安定に出力する必要があることから、光源製造時の歩留りが悪く、温度制御回路や波長モニタ回路など周辺回路も大規模なものとなり、高価になる問題があった。

【0019】本発明は、WDM方式とAWGを用いて複数のノード間をHCN接続するHCNにおいて、各ノードの光源の共有化を図りながら、容易かつ安価にネットワークの大規模化を可能にする波長多重ネットワークを提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明では、WDM方式とAWGを用いて複数のノード間をHCN接続するHCNにおいて、次のような手段によりネットワークの大規模化および総光源数の削減を実現する。

【0021】まず、請求項1の波長多重ネットワークでは、HCNで使用する波長の多波長光を出力する多波長光源を備え、多波長光源から出力される多波長光を各ノードの出力ポートから入力する。各ノードでは、入力される多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光を分波する光合分波器と、各波長の無変調光を送信信号により変調して折り返す反射型光変調器を備え、各反射型光変調器から出力された波長信号光を光合分波器で合波して波長多重信号光として送信する。

【0022】ネットワークの規模拡大は次のように行う。請求項2の波長多重ネットワークでは、AWGの入出力ポートに光カプラを配置して見かけ上の入出力ポート数を増大し、各入出力ポートに接続されたノードの番号、波長数、波長などをHCN接続となるように配置することにより、少ない入出力ポート数のAWGを用いて大規模なHCNを実現する。多波長光源から出力される多波長光は、AWGの入力ポートに配置された光カプラを介して各ノードの出力ポートから入力し、反射型光変調器を有する各ノードで多波長光からそれぞれ割り当てられた無変調光を選択し、変調して折り返す構成とする。

【0023】また、請求項3の波長多重ネットワークでは、HCN接続された複数のノードからなるサブHCN内に信号出力用AWGと信号入力用AWGを配置し、WDM方式により各サブHCNをHCN接続する構成とす



ることにより、大規模なHCNを実現する。サブHCN間のHCN接続に用いる多波長光源は、信号出力用AWGの出力ポートから入力する。

【0024】ここで、請求項1～3の波長多重ネットワークにおいて、多波長光源は各ノードからの送信に使用する波長を含む白色光を出力し、光分岐手段を介して白色光を波長多重分離素子の出力ポート側から入力し、各入力ポートから各波長の無変調光を合波した多波長光を出力して各ノードに供給する構成としてもよい（請求項4）。

【0025】また、請求項5、6の波長多重ネットワークでは、複数のサブHCN間をWDM方式によりHCN接続する外向き用のHCNにおいて、群合分波器を組み合わせることで内向き用のHCN接続もAWGとWDM方式を用いて構成する。これにより、各ノードから入出力される光ファイバの数を少なくでき、安価に大規模なHCNを実現する。なお、外向き用のHCN接続に用いる多波長光は、信号出力用AWGの出力ポートから入力して各ノードの出力ポートに入力するか（請求項5）、各ノードの出力ポートから内向き用のHCN接続に用いる多波長光とともに入力する（請求項6）。

【0026】また、請求項7の波長多重ネットワークでは、複数のサブHCN間をWDM方式によりHCN接続する上記のHCNにおいて、サブHCNへの信号入出力端に時間多重・波長多重変換回路（TDM/WDM）、波長多重・時間多重変換回路（WDM/TDM）をそれぞれ接続することにより、HCNを再帰的に拡張できる構成とする。これにより、より大規模なHCNを実現する。

【0027】また、請求項8の波長多重ネットワークでは、複数のサブHCN間をWDM方式によりHCN接続する上記のHCNにおいて、サブHCNへの複数の入出力線を束ね、全てのサブHCNの入出力線を1箇所に集線した上でHCN接続を実施する。このような構成により、物理的なHCN接続を既存の通信ネットワークの構成に近いスター網にすることができ、光ファイバケーブルの敷設なども含めたネットワーク構築コストを小さくする。また、集線部分から光ファイバケーブルを介して多波長光を入力することにより、効率的に各ノードに多波長光を供給することができる。

【0028】以上の各手段を組み合わせて階層的にHCNを構成することにより、より効率的にHCNを構築することができる。なお、請求項9の波長多重ネットワークは、サブHCNを請求項1、2に記載のHCNにより構成するものである。

【0029】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態：8ポートのAWGによる3次HCN：請求項1）図1は、本発明の波長多重ネットワークの第1の実施形態を示す。本実施形態は、図18に示すWDM方式とAWGを組み合わせて

3次HCNを実現する従来構成に本発明を適用したものである。

【0030】図において、ノード000～111およびAWG1による全体的な構成は従来構成と同様である。本実施形態では、多波長光源40から出力される多波長光を光カプラ2を介してそれぞれノード000～111の送信ポートに入力し、各ノードで多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光を選択し、反射型光変調器を用いて変調し、折り返し送信する構成である。一方、各ノードにおける受信系の構成は従来のものと変わらない。なお、光カプラ2は、光サーキュレータを用いてもよい。

【0031】図2は、多波長光源40の構成例を示す。なお、図1の波長多重ネットワークでは、波長 $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ の6波長を使用する構成であり、多波長光源40はそれらの波長を有する多波長光を出力する。すなわち、多波長光源40は、波長多重ネットワークで使用する波長に応じた複数の波長を有する多波長光を出力する。

【0032】図において、多波長光源40は、出力波長 $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ の光源41-1～41-6を有し、それぞれの出力光（無変調光）は光合波器42で合波され、光増幅器43および光アイソレータ44を介して光カプラ45で8分岐して出力される。各多波長光は、それぞれ図1に示す光カプラ2を介してノード000～111に入力される。なお、光カプラ2として光サーキュレータを用いた場合には、光アイソレータ44は必ずしも必要としない。

【0033】なお、多波長光源40としては、各ノードの送信波長を含む白色光から光フィルタで各波長の無変調光を切り出し、その後で合波、増幅および分岐して出力する構成としてもよい。この場合に、白色光を図1に示すAWG1の出力ポート側から入力することにより、AWG1を光フィルタとして機能させ、各入力ポートからそれぞれ波長 $\lambda_0$ ～ $\lambda_7$ の多波長光を出力させることも可能である（請求項4）。

【0034】図3は、ノード000の構成例を示す。なお、ノード000は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ の信号光を送受信する構成であり、入力される波長 $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ の多波長光から必要な波長の無変調光が選択される。

【0035】図において、多波長光源から出力された多波長光（ $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ ）がノード000の光合分波器54に入力されると、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ の無変調光が分波され、それぞれ対応する反射型光変調器55-1～55-3に入力される。各反射型光変調器は、それぞれ無変調光を送信信号で変調して折り返し出力する。波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ の信号光は光合分波器54で合波され、図1に示す光カプラ2を介してAWG1の入力ポート0に入力される。一方、AWG

1の出力ポート0から出力され、ノード000に入力される波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_4$ の信号光は、光分波器53で分波されて受光器56-1~56-3に受光される。

【0036】なお、各ノード000~111は送受信波長がそれぞれ決められるので、各ノードの光分波器53および光合分波器54では、それぞれ割り当てられた波長を合分波するように設定される。また、図1に示す構成では、各ノードにおける送受信波長が同じであるので、光合分波器54と光分波器53は同じ合分波特性を有する。光合分波器54（光分波器53）および反射型光変調器55の構成例については後述する。

【0037】このように、本実施形態では各ノードが光源をもたず、外部から入力された無変調光を反射型光変調器により変調して折り返し送信する構成になっている。波長多重用光源は、一般に波長精度に対する要求条件が厳しく、素子単体が高価であるばかりでなく、温度変化に伴う発振波長のドリフト補償のための温度調節回路やフィードバック制御回路が必要とされ高価である。図18に示す従来構成では、8ノードからなる3次HCNで各ノードが3個の光源を必要とし、ネットワーク全体で24個の光源が必要であった。一方、本実施形態では、光源の数は1つの多波長光源に6波長分を備えればよい。

【0038】一般に、 $n$ 次HCN（ノード数は $2^n$ 個）を実現するには、各ノードに $n$ 個の光源を備える必要があり、ネットワーク全体では $n \times 2^n$ 個の光源が必要であった。本実施形態の構成では、必要となる光源の数は $2^n$ 個以下となる。このように、各ノードの波長多重用光源を共有化し、光源の数を大幅に削減することにより、ネットワークのコストを大幅に小さくすることができる。

【0039】（第2の実施形態：8ポートのAWGによる4次HCN：請求項2）図4は、本発明の波長多重ネットワークの第2の実施形態を示す。本実施形態は、8ポートのAWGを用いて構成される4次HCN（16ノード）を示す。なお、本実施形態は、16ポートのAWGによる5次HCN、32ポートのAWGによる6次HCNおよび7次HCN、64ポートのAWGによる8次HCN、128ポートのAWGによる9次HCNおよび10次HCNのように順次拡張していくことができる（詳しくは、特願平11-234681（波長多重ネットワーク）に記載）。

【0040】図において、ノード0000~1111は、それぞれ光合分波器54、反射型光変調器55、光分波器53、受光器56を有する。多波長光源40から出力される多波長光（ $\lambda_0 \sim \lambda_7$ ）は、光カプラ2を介してそれぞれノード0000~1111に入力され、各ノードで多波長光からそれぞれ割り当てられた波長の無変調光が選択され、反射型光変調器を用いて変調し、折り返し送信される。ただし、1つの光カプラで2つのノ

ードに多波長光が分配される。

【0041】多波長光が分配されるペアとなるノード000, 1000から送信された信号光は、折り返し光カプラ2で合波してAWG1の入力ポート0に入力される。以下同様に、ノード0001~0111とノード1001~1111がそれぞれ順番にペアとなり、各ペアのノードから出力された信号光が光カプラ2で合波され、AWG1の入力ポート1~7に順番に入力される。また、AWG1の出力ポート0~7には光カプラ3が接続され、それぞれ2分岐された一方の信号光がノード0000~0111に順に入力され、他方の信号光がノード1111~1000に順に入力される。

【0042】本実施形態の基本的な構成は、図1に示した第1の実施形態のHCNと同じである。異なる点は、AWG1の1ポートあたり複数のノードの波長多重信号光の入出力を可能とした点である。そのときに、ノード0000はAWG1の入力ポート0および出力ポート0に接続し、ノード1000はAWG1の入力ポート0および出力ポート7に接続する。同様に、ノード0001はAWG1の入力ポート1および出力ポート1に接続し、ノード1001はAWG1の入力ポート1および出力ポート6に接続する。すなわち、ノード0000~0111は、同一番号の入出力ポート0~7に順番に接続されるが、ノード1000~1111は、入力ポート0~7に順番に接続され、出力ポート7~0に逆順で接続される。

【0043】ここで、このような接続により、8ポートのAWGを用いて4次HCN（16ノード）が構成可能な原理について説明する。16個のノード0000~1111を最上位ビット0と1の2つのグループに分け、下位3ビットについてノード番号とAWGの入出力ポート番号（2進数表示）が一致するものを図5(a)に示し、ノード番号とAWGの入力ポート番号（2進数表示）が一致し、出力ポート番号（2進数表示）が逆順で接続されるものを図5(b)に示す。

【0044】図5(a)は、入力ポート0~7にノード0000~0111を接続し、出力ポート0~7にノード0000~0111を接続したものであり、図20に示す3次HCNと同じ入出力関係（図中ハッチングで示す）となる。なお、HCN接続の各入出力ポート間で使用する波長は図20と同様である。

【0045】図5(b)は、入力ポート0~7にノード1000~1111を接続し、出力ポート0~7にノード1111~1000を接続したものであり、出力ポート0~7に接続するノードの降順が図5(a)のものと逆になっている。このような配置において、HCNは例えばノード1000とノード1001、1010、1100を接続すればよく、そのときの使用波長を $\lambda_3$ ,  $\lambda_5$ ,  $\lambda_6$ とすればよいことがわかる。他のノードについても同様である（図中ハッチングで示す）。これにより、2種類



の対称な3次HCNが構成され、入力ポートおよび出力ポートにそれぞれ2つのノードを同時に接続可能なことがわかる。

【0046】図6は、8ポートのAWGによる4次HCNの接続関係の一例を示す。これは図5(a)、(b)を組み合わせたものであり、入出力ポート間の波長は省略している。AWGの入力ポート0~7には、ノード(0000, 1000)~(0111, 1111)がそれぞれペアで接続され、出力ポート0~7には、ノード(0000, 1111)~(0111, 1000)がそれぞれペアで接続される。○印は図5(a)にハッチングで示したHCN接続する組み合わせを示し、△印は図5(b)にハッチングで示したHCN接続する組み合わせを示す。また、●、▲印は図5(a)に示すノードと図5(b)に示すノードがHCN接続になることを示す。

【0047】すなわち、例えば入力ポート0に接続されるノード0000は、HCNの定義からノード0001, 0010, 0100, 1000と接続する必要がある。それぞれ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_7$ で接続される。一方、同一の入力ポート0に接続されるノード1000は、HCNの定義からノード0000, 1001, 1010, 1100と接続する必要がある。それぞれ波長 $\lambda_0, \lambda_6, \lambda_5, \lambda_3$ で接続される。これは、1つのポートに2つのノードからの波長多重信号を合波して入力した場合であっても、接続のための波長が互いに重複することなくHCN接続が可能であることを示している。他の入出力ポートについても同様のことが図6から分かる。

【0048】なお、本実施形態は、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_7$ の8波長を使用する構成であり、多波長光源40はそれらの波長を有する多波長光を出力する。また、本実施形態では、各ノードにおける送信波長と受信波長が異なる。図4に示すノード0000~0111は、上段に受信波長、下段に送信波長を示し、ノード1000~1111は、上段に送信波長、下段に受信波長を示す。例えば、ノード0000では、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_7$ の多波長光から波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_7$ の無変調光を選択し、反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。この信号光は、ノード1000から出力される波長 $\lambda_0, \lambda_3, \lambda_5, \lambda_6$ の信号光と光カプラ2で合波され、AWG1の入力ポート0に入力される。一方、AWG1の出力ポート0には波長 $\lambda_0 \sim \lambda_7$ の波長多重信号光が出力され、光カプラ3で2分岐してノード0000およびノード1111に入力されるが、ノード0000では波長 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$ の信号光を受信する。

【0049】このように、ノード0000の送信波長は $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_7$ であり、受信波長は波長 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$ となり、両者は一致しない。他のノードにおいても同様である。したがって、各ノード0000~1111の光分波器53および光合分波器54では、それぞれ割り当てられた波長を合分波するように設

定される。

【0050】(第3の実施形態：請求項3)図7は、本発明の波長多重ネットワークの第3の実施形態を示す。本実施形態は、ノード数4の2次HCNをサブHCNとし、4つのサブHCNを接続して4次HCN(ノード数16)を構成する場合について説明する。

【0051】図において、サブHCN00~11は、それぞれノード0000~0011、ノード0100~0111、ノード1000~1011、ノード1100~1111を収容し、各ノード間がHCN接続されている。例えば、サブHCN00では、ノード0000-0001、0000-0010、0001-0011、0010-0011間がそれぞれ双方向接続されている。なお、サブHCNを実現する際のインターコネクションの種類については特に言及しない。

【0052】各サブHCNには、外部ネットワークへのインターフェースとして信号出力用AWG5および信号入力用AWG6が備えられる。各ノードには、信号出力用AWG5の対応する入力ポートおよび信号入力用AWG6の対応する出力ポートが接続されるが、それぞれ同一のポート番号が使用される。例えば、ノード0000には、信号出力用AWG5の入力ポート0と信号入力用AWG6の出力ポート0が接続される。

【0053】各サブHCN00~11は、信号出力用AWG5および信号入力用AWG6を介してHCN接続される。すなわち、サブHCN00-01、00-10、01-11、10-11間が双方向接続される。ただし、各サブHCNの接続では、信号出力用AWG5および信号入力用AWG6の同一のポート番号を使用する。例えば、サブHCN00とサブHCN01を接続する際には、信号出力用AWG5の出力ポート0と信号入力用AWG6の入力ポート0が接続される。信号出力用AWG5および信号入力用AWG6の入出力ポートと入出力波長の関係を図8に示す。

【0054】ここで、サブHCN間のHCN接続では、例えばサブHCN00のノード0000と、サブHCN01のノード0100およびサブHCN10の1000を接続することになる。このとき、図8の関係によると、ノード0000から波長 $\lambda_0, \lambda_1$ の信号光を送出することによって接続可能となる。ノード0000から送出された波長 $\lambda_0$ の信号光は、サブHCN00の信号出力用AWG5の入力ポート0へ入力され、出力ポート0から出力される。信号出力用AWG5の出力ポート0には、サブHCN01の信号入力用AWG6の入力ポート0が接続されているので、この波長 $\lambda_0$ の信号光は信号入力用AWG6の出力ポート0からノード0100へ入力される。同様に、ノード0000から送出された波長 $\lambda_1$ の信号光は、サブHCN00の信号出力用AWG5およびサブHCN10の信号入力用AWG6を通過し、ノード1000へ入力される。

【0055】以下同様に、各ノードの入出力信号光の波長を適切に選択することによって、全てのノードをHCN接続することが可能となる。すなわち、4つの2次HCN（ノード数4）をAWGを介してHCN接続することにより、4次HCN（16ノード）が実現される。

【0056】以上の構成において、サブHCN間を接続するための各ノードからの送信波長は、サブHCN00のノード0000で $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、ノード0001で $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、ノード0010で $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、ノード0011で $\lambda_3$ 、 $\lambda_0$ であり、それぞれサブHCN01、サブHCN10の対応するノードに対する送信に使用される。他のサブHCNの各ノードからの送信においても同様である。このようなサブHCN間の接続に用いる各ノードの光源についても、多波長光源により共有化することができる。

【0057】サブHCN00の多波長光源40は、各ノード0000～0011でサブHCN間の接続に使用する波長 $\lambda_0 \sim \lambda_3$ の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ3を介して信号出力用AWG5の出力ポート0、1から入力され、入力ポート0から出力される波長 $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ の多波長光がノード0000に入力され、入力ポート1から出力される波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の多波長光がノード0001に入力され、入力ポート2から出力される波長 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の多波長光がノード0010に入力され、入力ポート3から出力される波長 $\lambda_3$ 、 $\lambda_0$ の多波長光がノード0011に入力される。各ノードでは、それぞれ入力される多波長光から各波長の無変調光を分波し、反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。他のサブHCNにおいても同様である。

【0058】なお、図7のように、各サブHCNごとにそれぞれ多波長光源40を備えてもよいし、複数のサブHCNで1つの多波長光源40を共有するようにしてもよい。また、例えばサブHCN00およびサブHCN11に備えた多波長光源40から出力される多波長光を信号入力用AWG6の入力ポート0、1に接続されるリンクに逆向きに入力することにより、サブHCN01およびサブHCN10の各信号出力用AWG5の入力ポート0、1に多波長光を入力させることができる。

【0059】また、多波長光源40は、各ノードの送信波長を含む白色光を出力し、信号出力用AWG5の出力ポート0、1から入力することにより、同様に各波長の多波長光を各ノードに供給することができる（請求項4）。

【0060】本構成によれば、サブHCNの信号入出力用AWGのポート数分だけHCNの次数を拡張することが可能である。図7の場合では、信号入出力用AWGが4ポートあるので、この4ポートを用いて16個のサブHCNをHCN接続することにより、最大6次HCN（64ノード）まで拡張することが可能である。すなわち、2つのAWGを用いて複数のサブHCNをHCN接続する

ことにより、HCNの次数あるいはノード数を容易に拡張することができる。

【0061】（第4の実施形態：請求項3）図9は、本発明の波長多重ネットワークの第4の実施形態を示す。本実施形態は、ノード数16の4次HCNをサブHCNとし、2つのサブHCNを接続して5次HCN（ノード数32）を構成する場合について説明する。

【0062】図において、サブHCN00を構成するノード00000～01111はHCN接続され、サブHCN01を構成するノード10000～11111はHCN接続されているものとする。それぞれのサブHCNには、信号出力用AWG5および信号入力用AWG6が配置され、サブHCN間のHCN接続が行われる。ここで、2つのサブHCNをHCN接続するとは、各サブHCN内のノード番号の下4桁が同じノード同士を接続することである。

【0063】サブHCN00のノード00000～01111から波長 $\lambda_0 \sim \lambda_{15}$ の信号光を信号出力用AWG5の入力ポート0～15に入力すると、各波長の信号光は信号出力用AWG5の出力ポート0に波長多重されて出力され、サブHCN01の信号入力用AWG6の入力ポート0に入力される。サブHCN01の信号入力用AWG6では、波長多重信号光を各波長ごとに分波し、出力ポート0～15からそれぞれノード10000～11111に送出する。これにより、サブHCN00の各ノードからサブHCN01の各ノードに対してHCN接続することができる。逆方向についても同様である。

【0064】多波長光源40は、サブHCN00を構成する各ノード00000～01111でサブHCN間の接続に使用する波長 $\lambda_0 \sim \lambda_{15}$ の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ3を介して信号出力用AWG5の出力ポート0から入力され、入力ポート0～15から波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{15}$ の無変調光に分波して出力され、各ノード00000～01111に入力される。各ノードでは、それぞれ入力される無変調光を反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。なお、この多波長光源40は、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_{15}$ を含む白色光源としてもよい。

【0065】本構成によるサブHCN間のHCN接続では、HCNの次数に応じて信号入出力用AWGの入出力ポートが他のサブHCNと接続されることになる。その場合、各ノードでは16波長の信号光をサイクリックに順次追加していくことになる。すなわち、次数の増大とともに、光カプラまたは光サーキュレータを介して信号出力用AWG5に多波長光を入力する出力ポート数を順次増やしていけばよい（図中破線で示す）。これは、サブHCN間のHCN接続の次数が増大しても光源数は一定にできることを示している。

【0066】多波長光源40における光源数（波長数）は、サブHCNを構成するノード数16に対応している。

信号入出力用AWGの入出力ポートは、サブHCNのノード数と等しい16であり、本構成では最大16次までのサブHCN間のHCN接続が可能となる。

【0067】(第5の実施形態：請求項5)図10は、本発明の波長多重ネットワークの第5の実施形態を示す。本実施形態は、図7、9に示すサブHCN内のHCN接続を図1に示す第1の実施形態の構成により実現し、さらにサブHCN内でノード間を入出力する波長とサブHCN間を入出力する波長の帯域を分け、それぞれの帯域ごとに合分波する群分波器を用いて各ノードからの信号入出力線をそれぞれ1本とする構成について説明する。

【0068】図において、サブHCN00およびサブHCN01は、それぞれノード0000～0111、ノード1000～1111を収容し、各ノード間が8ポートのAWG1を介してHCN接続される。8ポートのAWGによる3次HCNは、図1に示す第1の実施形態と同様である。

【0069】各サブHCNには、外部ネットワークへのインターフェースとして信号出力用AWG5および信号入力用AWG6が備えられる。各ノードの送信ポートには、群分波器7を介してAWG1および信号出力用AWG5の対応する入力ポートが接続され、各ノードの受信ポートには、群合波器8を介してAWG1および信号入力用AWG6の対応する出力ポートが接続される。

【0070】本実施形態では、サブHCN内接続用(内向き用)のAWG1と、サブHCN間接続用(外向き用)の信号出力用AWG5および信号入力用AWG6をそれぞれ用意し、サブHCN内外への接続の切り分けをAWG外の群分波器7および群合波器8で実現することにより、各ノードに入出力する信号線が2本だけで第3および第4の実施形態と同様の機能を実現することができる。

【0071】サブHCN00の内向き用の多波長光源40aは、図1に示す多波長光源40と同様に、各ノード0000～0111のHCN接続に使用する波長の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ2を介してノード0000～0111に入力され、サブHCN00の外向き用の多波長光源40bは、図7、図9に示す多波長光源40と同様に、各ノード0000～0111でサブHCN間の接続に使用する波長の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ3を介して信号出力用AWG5の出力ポート0から入力され、入力ポート0～7から各波長の無変調光に分波して出力され、光カプラ2を介して各ノード0000～0111に入力される。各ノードでは、それぞれ割り当てられた内向き用および外向き用の無変調光を選択し、反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。

【0072】なお、サブHCN00の外向き用の多波長光源40bは、各ノード0000～0111でサブHC

N間の接続に使用する波長を含む白色光源としてもよい。他のサブHCN01においても同様である。

【0073】また、各サブHCNごとに、内向き用の多波長光源40aと外向き用の多波長光源40bを一つにまとめ、光カプラ2を介してそれぞれ所定の多波長光を各ノードに入力するようにしてもよい(図12参照)。また、複数のサブHCNで各多波長光源を共有するようにしてもよい。また、サブHCN00に備えた多波長光源40bから出力される多波長光を信号入力用AWG6の入力ポート0に接続されるリンクに逆向きに入力することにより、サブHCN01の信号出力用AWG5の入力ポート0に多波長光を入力させることができる。

【0074】図10のHCNは、8ノードからなる3次HCNを2個接続して4次HCN(16ノード)を実現する構成である。ネットワーク拡張用のAWGは8ポートなので、これを全て利用すれば最大で256個のサブHCNをHCN接続することができる。その場合には、全体で11次HCN(2048ノード)、各ノードの入出力波長信号数は11となる。

【0075】図11は、第5の実施形態のサブHCNとして第2の実施形態の構成(図4)を適用した例を示す(請求項9)。図において、ノード0000～1111、AWG1、光カプラ2、3は図4に示す第2の実施形態の構成と同様に接続される。また、群分波器7および群合波器8、サブHCN間接続に用いる信号出力用AWG5および信号入力用AWG6は、図10に示す第5の実施形態に対応する。

【0076】ここで、群分波器7-1は、ノード0000～0111からの出力信号光を分波し、AWG1の入力ポート0～7および信号出力用AWG5の入力ポート8～15に接続する。群分波器7-2は、ノード1000～1111からの出力信号光を分波し、AWG1の入力ポート0～7および信号出力用AWG5の入力ポート0～7に接続する。群合波器8-1は、AWG1の出力ポート0～7および信号入力用AWG6の出力ポート15～8の出力信号光をノード0000～0111に接続する。群合波器8-2は、AWG1の出力ポート0～7および信号入力用AWG6の出力ポート0～7の出力信号光をノード1111～1000に接続する。

【0077】サブHCNの内向き用の多波長光源40aは、図4に示す第2の実施形態と同様に、各ノード0000～1111のHCN接続に使用する波長の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ2および群分波器7-1、7-2を介してノード0000～1111に入力され、各ノードでそれぞれ割り当てられた波長の無変調光が選択される。サブHCNの外向き用の多波長光源40bは、図9に示す第4の実施形態と同様に、各ノード0000～1111でサブHCN間の接続に使用する波長の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ3を介して信号出力用AWG5の出力ポート0から入



力され、入力ポート0～15から各波長の無変調光に分波して出力され、群分波器7-1, 7-2を介して各ノード0000～1111に入力される。各ノードでは、それぞれ割り当てられた波長の無変調光を反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。

【0078】このような構成により、各ノードの光源を共有しながら少ないポート数のAWGを用いてHCNを構成することが可能となり、経済的にネットワークを構築できる。図11のサブHCNのノード数は16で4次HCNとなっている。このサブHCNでサブHCN間接続に用いる信号入出力用AWG5, 6は16ポートなので、これを全て利用すれば $2^{16}$ 個のサブHCNをHCN接続することができる。その場合には、全体で20次HCN (1,048,576 ノード) となる。

【0079】以上示した第5の実施形態では、図7に示す第3の実施形態に比べて、各ノードへの入出力信号線の数を少なくすることができ、経済的にHCNを実現することが可能となる。

【0080】(第6の実施形態：請求項6, 7) 図12は、本発明の波長多重ネットワークの第6の実施形態を示す。本実施形態は、第3～第5の実施形態において、他のサブHCNとの接続用に設けられている信号出力用AWG5の出力ポートに波長多重・時間多重変換回路(WDM/TDM)を接続し、信号入力用AWG6の入力ポートに時間多重・波長多重変換回路(TDM/WDM)を接続することにより、再帰的なネットワーク構築を可能とするものである。

【0081】図において、サブHCN9は、ここでは図10に示す第5の実施形態の1つのサブHCNとする。信号出力用AWG5の出力ポート0～7には、それぞれWDM/TDM10が接続され、さらにその出力が波長多重回路11により波長多重されて外部に出力される。外部から入力される波長多重信号は波長分離回路12により波長分離され、さらにそれぞれ対応するTDM/WDM13を介して信号入力用AWG6の入力ポート0～7に接続される。図12は、このようなサブHCN9を一つのノードとして階層的に接続した状態を示す。

【0082】サブHCN9の多波長光源40は、各ノードの内向き用のHCN接続に使用する波長の多波長光および外向き用のHCN接続に使用する波長の多波長光を出力する。この多波長光は、光カプラ2を介して各ノードに入力され、各ノードでそれぞれ割り当てられた波長の無変調光が選択される。各ノードでは、それぞれ入力される無変調光を反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。これらの信号光は、内向き用および外向き用にそれぞれ群分波器7で分波され、AWG1または信号出力用AWG5に入力される。さらに、多波長光源40からは、WDM/TDM10およびTDM/WDM13で使用する多波長光が出力される。

【0083】図13は、信号出力用AWG5の各出力ポ

ートに接続されるWDM/TDM10の構成例を示す。WDM/TDM10は、WDM/TDM変換部14に多波長光源40から出力された多波長光( $\lambda_a$ )を入力する構成である。

【0084】WDM/TDM変換部14には、波長多重信号光(図では $\lambda_0 \sim \lambda_3$ )が入力される。ここでは、各波長信号光は強度変調されたパルス信号とする。WDM/TDM変換部14は、入力された複数の波長信号光を分波し、各波長ごとに電気信号に変換した後にパルス幅を圧縮して時間軸上に多重化する。さらに、この時分割多重信号で波長 $\lambda_a$ の光を変調して出力する。このようにWDM/TDM10は、複数の異なる波長の光信号を単一波長の光信号に変換する機能をもつ。なお、ここでは、入出力信号光として強度変調された光信号を想定しているが、位相変調、周波数変調など他の変調方式であってもよい。

【0085】信号出力用AWG5の各出力ポートに接続されるWDM/TDM10で使用する波長 $\lambda_a$ は互いに異なっており、それぞれ異なる単一波長の光に時間多重された信号が図12に示す波長多重回路11により波長多重される。この波長多重された信号は、図12の波長分離回路12で波長分離されて各TDM/WDM13に入力される。

【0086】図14は、信号入力用AWG6の各入力ポートに接続されるTDM/WDM13の構成例を示す。TDM/WDM13は、多波長光源40から出力された多波長光( $\lambda_0 \sim \lambda_3$ )を光分波器15で分波し、TDM/WDM変換部16に入力する構成であり、WDM/TDM10と逆の動作をする。

【0087】TDM/WDM変換部16には、単一波長の光に時間多重された信号が入力され、一旦電気信号に変換して複数の時間多重分離信号を生成する。そして、時間多重分離された各信号は、互いに異なる波長 $\lambda_0 \sim \lambda_3$ の光をそれぞれ変調し、波長多重して出力する。

【0088】このように、サブHCNの入出力端にWDM/TDM10およびTDM/WDM13を付加することにより、サブHCNをサブHCNと同一構成のネットワークのノード部分に埋め込むことが可能となる。その際、WDM/TDM10から出力される信号光の波長、TDM/WDM13から出力される信号光の波長は、それぞれネットワーク全体がHCNを構成するように設定される必要がある。図12では8ノードからなる3次HCNを2回再帰的に構成することによって、64ノードからなる6次HCNを実現している。同じような構成を繰り返すことによって、ネットワーク規模をさらに拡大することが可能である。

【0089】このように、本実施形態によれば、サブHCNを相互にHCN接続して大規模なHCNを構成する波長多重ネットワークにおいて、WDM/TDM10およびTDM/WDM13を組み合わせることによって再

帰的なネットワーク構成を可能とし、大規模なHCNが実現可能となる。

【0090】(第7の実施形態：請求項8)ところで、第3～第5の実施形態では、サブHCN同士を接続するためにAWGを用いており、その間の配線はAWGのポート数および接続するサブHCN数に応じて複雑になる。例えば、AWGのポート数が4であれば、最大16個のサブHCNのHCN接続が可能であるが、各サブHCNが互いに離れていればその間をHCN接続することは容易ではない。第7の実施形態では、空間多重(SDM)を用いることにより、サブHCN間のケーブル布設を容易にしたものである。

【0091】図15は、本発明の波長多重ネットワークの第7の実施形態を示す。本実施形態は、サブHCN00～11間を接続するために、各サブHCNの信号出力用AWG5および信号入力用AWG6に接続される入出力線を多芯光ファイバケーブル17に収容し、インターコネクションノード18に集線した構成になっている。なお、サブHCN内の構成は、第3および第5の実施形態のいずれでもよい。

【0092】インターコネクションノード18は、複数の入出力線をHCN接続する。インターコネクションノード18内のHCN接続は、光ファイバをHCN接続してもよいし、平面光導波路を用いてHCN接続する導波路パターンを形成してもよい。なお、各サブHCNの信号出力用AWG5および信号入力用AWG6は4ポートあり、最大で16個のサブHCNを接続可能であるので、インターコネクションノード18ではそのための空きポートが用意されている。

【0093】多波長光源40(外向き用の多波長光源40b)は、サブHCN00～サブHCN11を構成する各ノードでサブHCN間の接続に使用する波長の多波長光を出力する。この多波長光は、信号出力用AWG5の出力ポート0, 1から入力されるように、インターコネクションノード18内の各線路に入力される。ここでは、●および○の位置に光カプラを配置し、●には図中上向きに多波長光を入力し、○には図中下向きに多波長光を入力する。各ノードでは、それぞれ入力される多波長光から各波長の無変調光を分波し、反射型光変調器を用いて変調および折り返し送信する。

【0094】このように、サブHCNの入出力線をインターコネクションノード18に集線し、その中でHCN接続する構成にすることにより、互いに離れた位置にあるサブHCN同士を直接HCN接続する場合に比べて、配線が単純になるとともに、光ファイバ敷設の手間を簡略化することができる。これにより、経済的にHCNを構成することが可能となる。

【0095】(光合分波器54の構成例)各ノードは送信波長がそれぞれ決められるので、各ノードの光合分波器54では、それぞれ割り当てられた波長を合分波する

ように設定される。なお、光分波器53についても同様である。

【0096】図16は、光合分波器54(光分波器53)の構成例を示す。ここでは、第1の実施形態(図1)のノード000における構成を示す。図16(a)はAWG61と空間スイッチ62による構成、図16(b)に示す光スターカプラ63と波長可変フィルタ64による構成を示す。

【0097】空間スイッチ62は、例えば平面光導波路(PLC)上に熱光学効果(TO)スイッチを形成し、AWG61のポートと反射型光変調器55-1～55-3との接続を各ノードに分波する波長に応じて選択する。また、波長可変フィルタ64-1～64-3は、各ノードに分波する波長に応じてそれぞれ選択する波長を設定する。

【0098】このように、本発明の波長多重ネットワークでは各ノードが光源をもたず、図16に示すような光空間スイッチ62または可変波長フィルタ64の設定により各ノードで送受信する波長を選択することができ、したがって、各ノードの構成部品を共通にすることができ、ノードコストの低減が可能である。

【0099】(反射型光変調器55の構成例)図17は、反射型光変調器55の構成例を示す。図17(a)に示す反射型光変調器55は、インライン型の光変調器71と光サーキュレータ72を組み合わせた構成である。インライン型の光変調器71としては、例えばリチウムナイオベートを用いた光変調器や電界吸収型の光変調器(EA変調器)や半導体光アンプを光変調器として用いたものなどが利用できる。入力ポート73から入力された無変調光は、光サーキュレータ72を介してインライン型の光変調器71に入力される。光変調器71は、外部からの電気信号(送信信号)により入力された無変調光を変調して出力する。出力された変調光は、光サーキュレータ72を介して入力ポート73に出力される。

【0100】図17(b)に示す反射型光変調器55は、マッハツェンダ型光変調器74のアーム部分を切断し、切断面にミラー75を配置した構成である。マッハツェンダ型光変調器74は、インライン型の光変調器の一つであり、ニオブ酸リチウムなどの基板に光導波路76および光分岐部77を形成し、アーム導波路部分に光制御用電極78を配置した構成である。光導波路76から入力された光は、光分岐部77で等分岐され、ミラー75で反射されて戻り、光分岐部77で合波される。光制御用電極78に外部からの電気信号(送信信号)を印加すると、一方の光導波路の屈折率が変化して通過する光に位相変調がかかる。この位相変調により、ミラー75から光分岐部77に戻ってきた2つの光の位相が逆位相になると、2つの光は互いに打ち消しあって出力されない。一方、光制御用電極78に電気信号が印加されないときには、2つの光は同位相になって光導波路76から



出力される。

【0101】図17(c)に示す反射型光変調器55は、半導体光増幅器79の一方の端面にミラー80を配置した構成である。半導体光増幅器79は、半導体基板に光導波路81を形成し、光導波路上の電流注入用電極82に電流を注入すると光増幅器として動作する。一方、電流注入用電極82に電流を注入しないか、あるいは逆バイアス電圧をかけると光吸収媒体として動作し、光は透過しない。この原理を利用し、電流注入時は入力光を増幅および反射して出力し、無電流時には反射光がない状態をつくる。

【0102】このような構成は半導体光増幅器に限らず、面発光レーザの一方のミラーを取り去って反射型光増幅器とした素子を用いてもよい。この場合、基板上面に面発光レーザ構造を作り、基板底面にミラーを金属蒸着などによって作ることが容易である。また、面発光レーザの出力光の形状が光ファイバのモード形状と整合性がよいので実装も容易である。また、アレイ化も容易である。

【0103】図17(d)に示す反射型光変調器55は、ハーフミラー83とミラー84を対向しておいたファブリペロー共振器の中に、電極85に印加する信号に応じて屈折率を変調できる屈折率変調媒体86を挟みこんだ構成である。入力光の一部は入力端のハーフミラー83で反射され(a)、残りの入力光はハーフミラー85を透過し、屈折率変調媒体86、ミラー84、屈折率変調媒体86、ハーフミラー83を経て出力される(b)。ここで、屈折率変調媒体86の屈折率を変調すると、ハーフミラー83の一端で2つの光の振幅が同等でかつ同位相か逆位相かを制御することができ、反射光の強度を変調することができる。なお、屈折率変調媒体86としては、ニオブ酸リチウムなどの強誘電性電気光学結晶に電極を付けたものを利用できる。

【0104】また、図17(b)～(d)に示す反射型光変調器55は、入力光が変調部を往復する構成であるので、各電極に印加する電力を低減できるとともに、通過型の光変調器に比べて相互作用長も短くでき、小型化することができる。

【0105】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長多重ネットワークは、WDM方式と周回性波長多重分離素子(例えばAWG)を組み合わせたHCNにおいて、次のような効果が得られる。

【0106】多波長光源から各ノードに送信に用いる波長の無変調光を供給し、変調して折り返し送信することにより、各ノードでは光源が不要となり、安価にノードを構成することができる。また、多波長光源は、複数のノードで共用化されるので、ノード当たりの光源単位も低くすることができる。したがって、波長多重ネットワークを低コストで実現することができる。

【0107】AWGの入出力ポートに光カプラを接続し、AWGの入出力ポートに複数のノードを接続することにより、少ないポート数のAWGを用いて大規模なHCNを実現することができる。多波長光は、AWGの入力ポート側に備えられた光カプラを用いて入力することにより、各ノードに効率よく分配することができる。

【0108】また、AWGをサブHCN間の信号入出力用に用いることにより、HCNをさらに拡張することが可能になる。また、サブHCN内のHCN接続用(内向き用)とサブHCN間のHCN接続用(外向き用)の波長帯を分離し、波長帯ごとに合分波を行う群合分波器を用いることにより、サブHCN内外の接続をAWGで実現し、全体として配線数を削減することができる。

【0109】また、WDM/TDM、TDM/WDMの各変換回路をサブHCN接続時に用いることにより、再帰的なネットワーク構成が可能となり、現状のネットワーク構成との整合性がよい大規模なネットワークを経済的に実現することができる。

【0110】さらに、以上の各構成を組み合わせることにより、大規模かつ大容量のネットワークを低コストで実現することができる。なお、本発明の波長多重ネットワークは、主にLAN、WANへの適用を想定しているが、適用分野はこれに限られるものでなく、広域ネットワークや並列処理装置内のプロセッサ間、プロセッサメモリ間ネットワーク、あるいはルータ、ATMスイッチ内の配線としても適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の波長多重ネットワークの第1の実施形態を示す図。

【図2】多波長光源40の構成例を示す図。

【図3】ノード000の構成例を示す図。

【図4】本発明の波長多重ネットワークの第2の実施形態を示す図。

【図5】8ポートのAWGを用いて4次HCN(16ノード)を構成する過程を説明する図。

【図6】8ポートのAWGによる4次HCNの接続関係を示す図。

【図7】本発明の波長多重ネットワークの第3の実施形態を示す図。

【図8】信号入出力用AWG5、6の入出力ポートと入出力波長の関係を示す図。

【図9】本発明の波長多重ネットワークの第4の実施形態を示す図。

【図10】本発明の波長多重ネットワークの第5の実施形態を示す図。

【図11】第5の実施形態のサブHCNとして第2の実施形態の構成(図4)を適用した構成例を示す図。

【図12】本発明の波長多重ネットワークの第6の実施形態を示す図。

【図13】WDM/TDM10の構成例を示す図。



【図14】TDM/WDM13の構成例を示す図。

【図15】本発明の波長多重ネットワークの第7の実施形態を示す図。

【図16】光合分波器54（光分波器53）の構成例を示す図。

【図17】反射型光変調器55の構成例を示す図。

【図18】WDM方式とAWGを組み合わせてHCNを実現する従来例を示す図。

【図19】ハイパーキューブネットワークの構成を示す図。

【図20】AWGの入出力ポート間の信号波長および各入出力ポートに接続されるノードの関係を示す図。

# 【符号の説明】

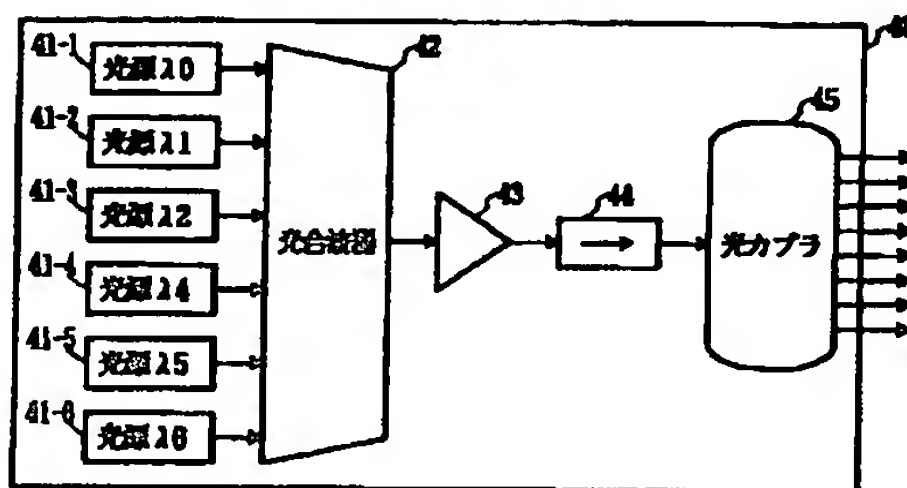
- 1 アレイ導波路回折格子型フィルタ（AWG）
- 2, 3 光カプラ
- 5 信号出力用AWG
- 6 信号入力用AWG
- 7 群分波器
- 8 群合波器
- 9 サブHCN
- 10 波長多重・時間多重変換回路（WDM/TDM）
- 11 波長多重回路
- 12 波長分離回路
- 13 時間多重・波長多重変換回路（TDM/WDM）
- 14 WDM/TDM変換部
- 15 光分波器
- 16 TDM/WDM変換部
- 17 多芯光ファイバケーブル
- 18 インターコネクションノード
- 40 多波長光源

- 41 光源
- 42 光合波器
- 43 光増幅器
- 44 光アイソレータ
- 45 光カプラ
- 53 光分波器
- 54 光合分波器
- 55 反射型光変調器
- 56 受光器
- 61 アレイ導波路回折格子型フィルタ（AWG）
- 62 光空間スイッチ
- 63 光カプラ
- 64 可変波長フィルタ
- 71 インライン型の光変調器
- 72 光サーキュレータ
- 73 入力ポート
- 74 マッハツェンダ型光変調器
- 75 ミラー
- 76 光導波路
- 77 光分岐部
- 78 光制御用電極
- 79 半導体光増幅器
- 80 ミラー
- 81 光導波路
- 82 電流注入用電極
- 83 ハーフミラー
- 84 ミラー
- 85 電極
- 86 屈折率変調媒体

30

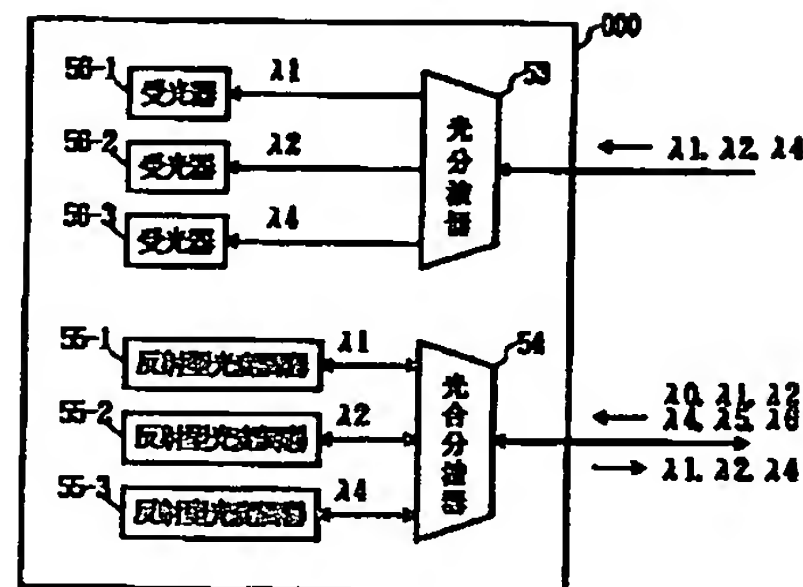
【図2】

多波長光源40の構成例



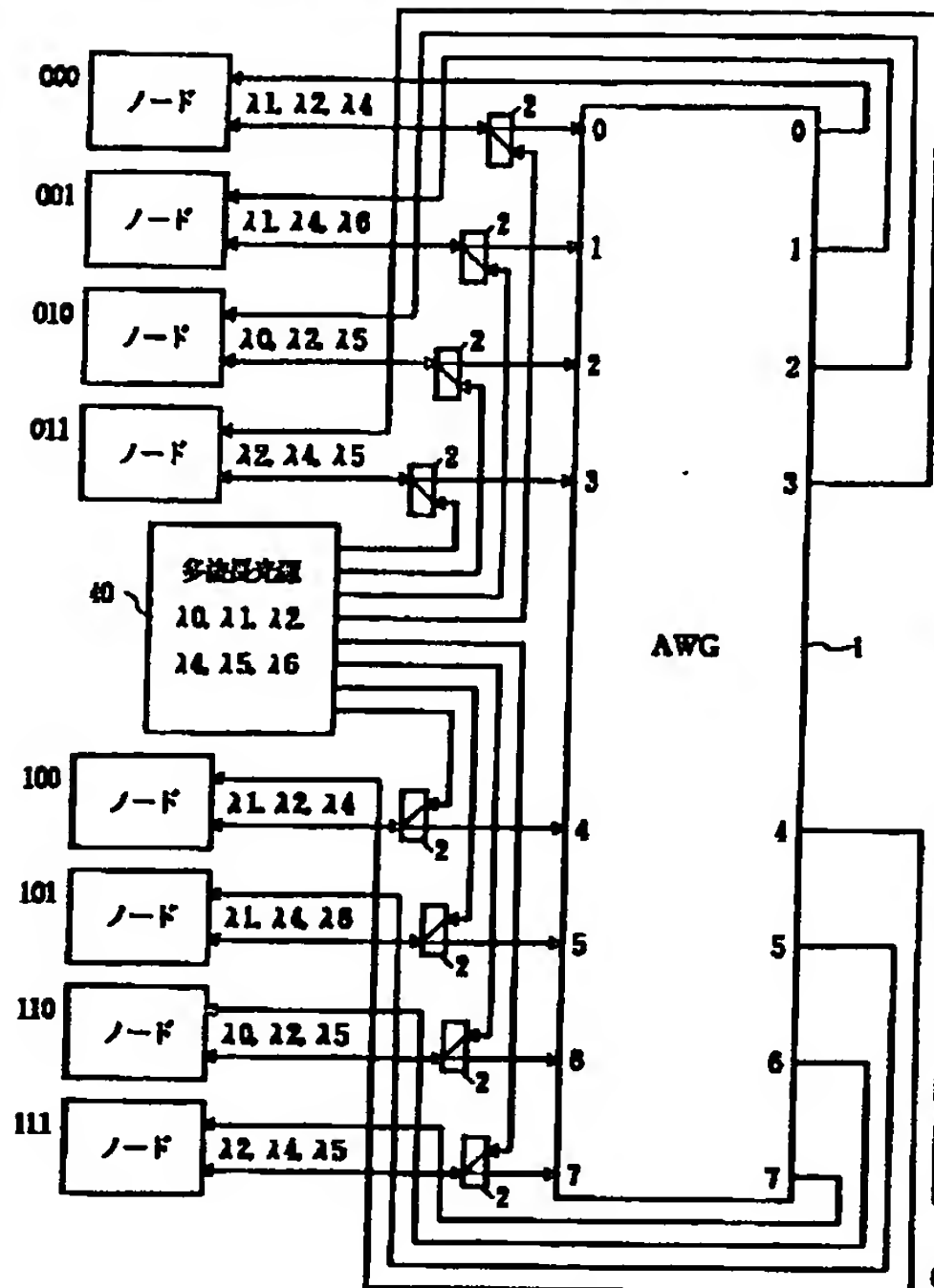
【図3】

ノード000の構成例



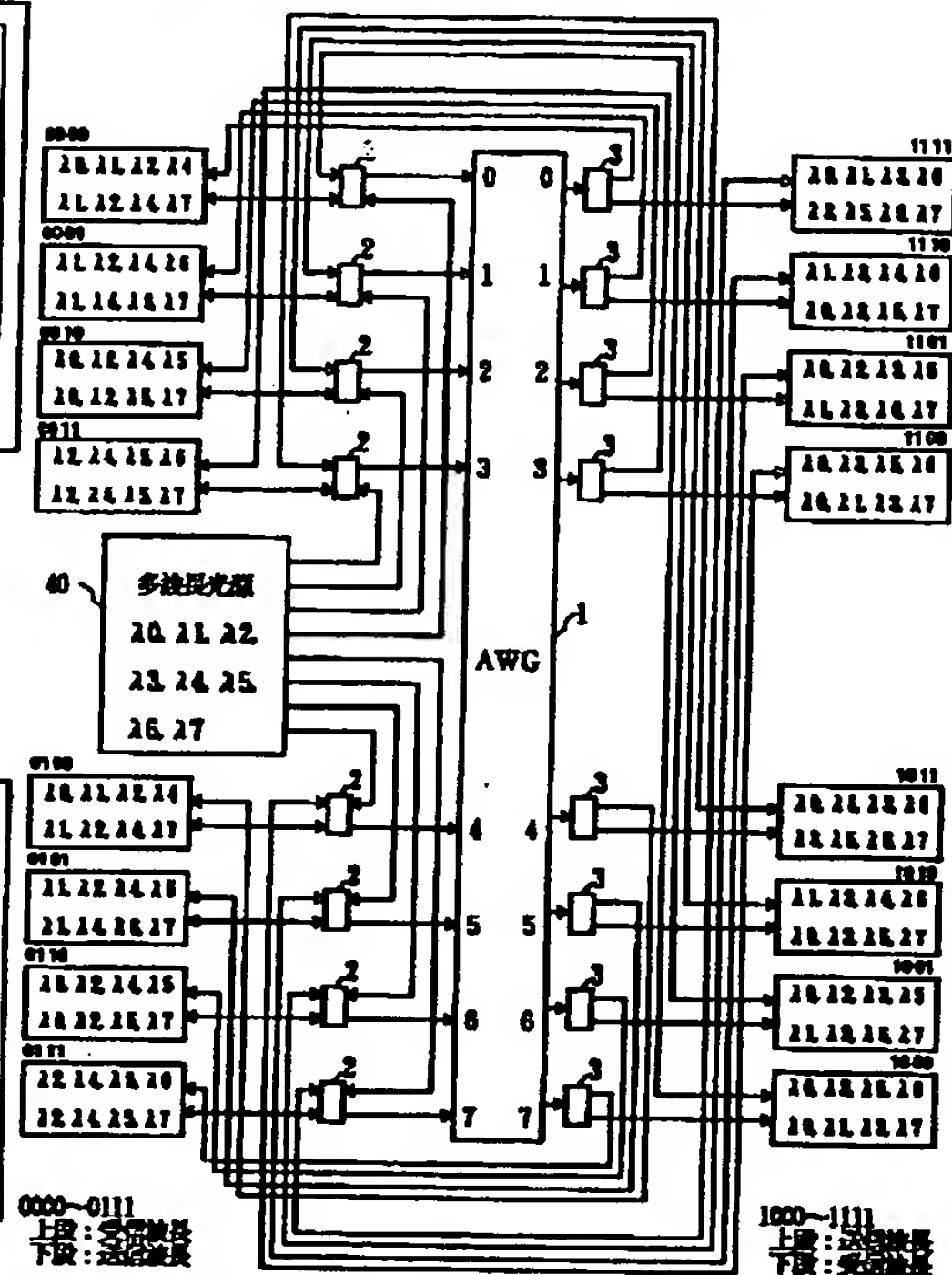
【図1】

本発明の波長多重ネットワークの第1の実施形態



【図4】

本発明の波長多重ネットワークの第2の実施形態



【図6】

8ポートのAWGによる4次HCNの接続関係

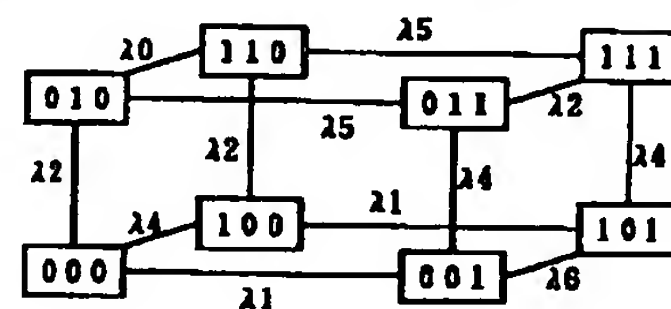
出力 入力	出力ポート	0	1	2	3	4	5	6	7
ノード番号	0	0	1	2	3	4	5	6	7
1000	0000	0	1	2	3	4	5	6	7
1001	0001	1	0	3	2	4	5	6	7
1010	0010	2	0	1	3	4	5	6	7
1011	0011	3	0	1	2	4	5	6	7
1100	0100	4	0	1	2	3	5	6	7
1101	0101	5	0	1	2	3	4	6	7
1110	0110	6	0	1	2	3	4	5	7
1111	0111	7	0	1	2	3	4	5	6

【図8】

信号入出力用AWG5, 8の入出力ポートと入出力波長の関係

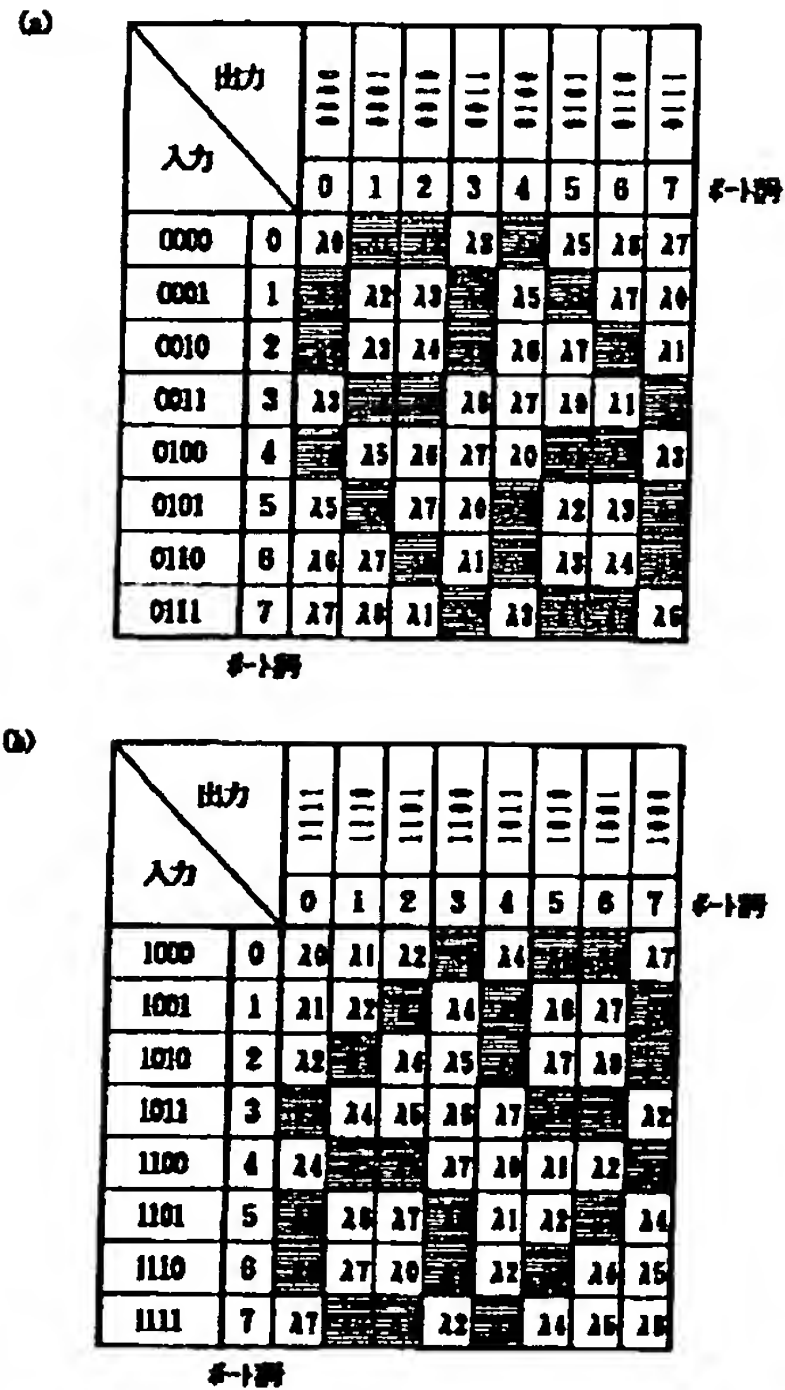
出力ポート	0	1	2	3
0	20	21	(22)	(23)
1	21	22	(23)	(24)
2	22	23	(24)	(25)
3	23	24	(25)	(26)

【図19】



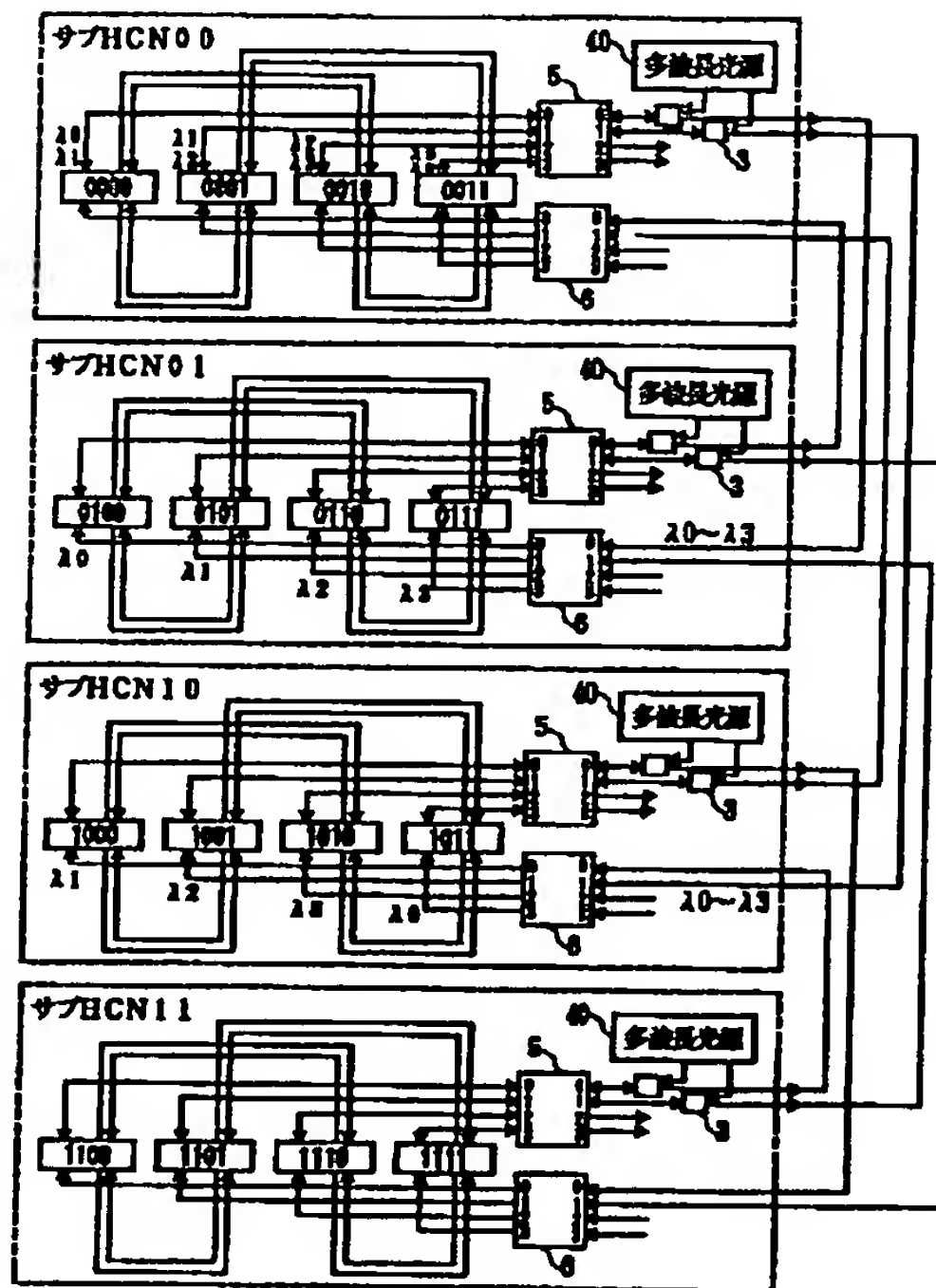
【図5】

8ポートのAWGを用いて4次HCNを構成する過程



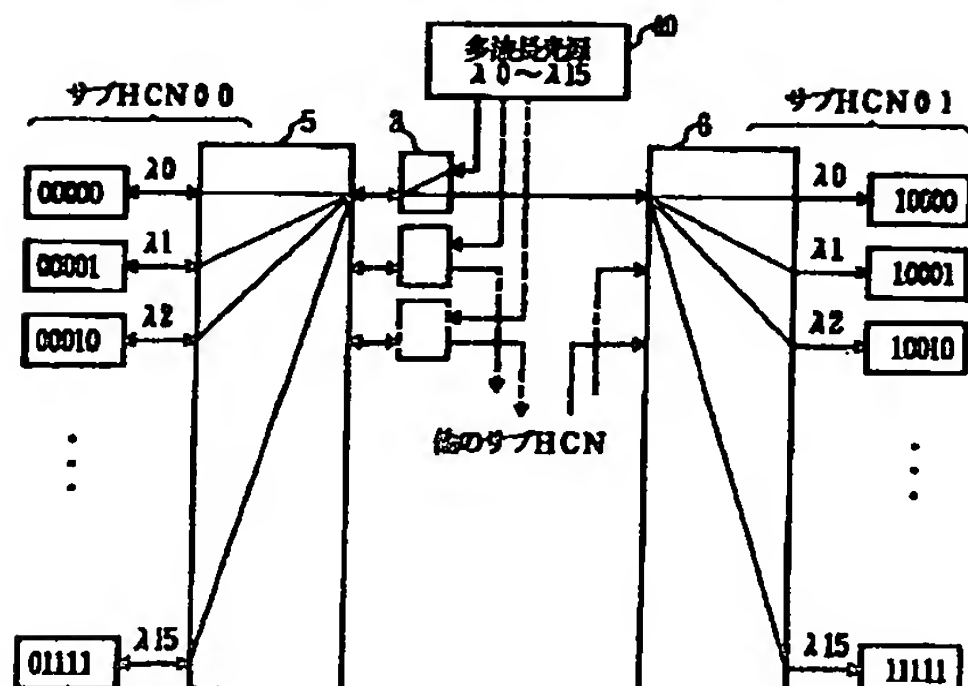
【図7】

本発明の波長多重ネットワークの第3の実施形態



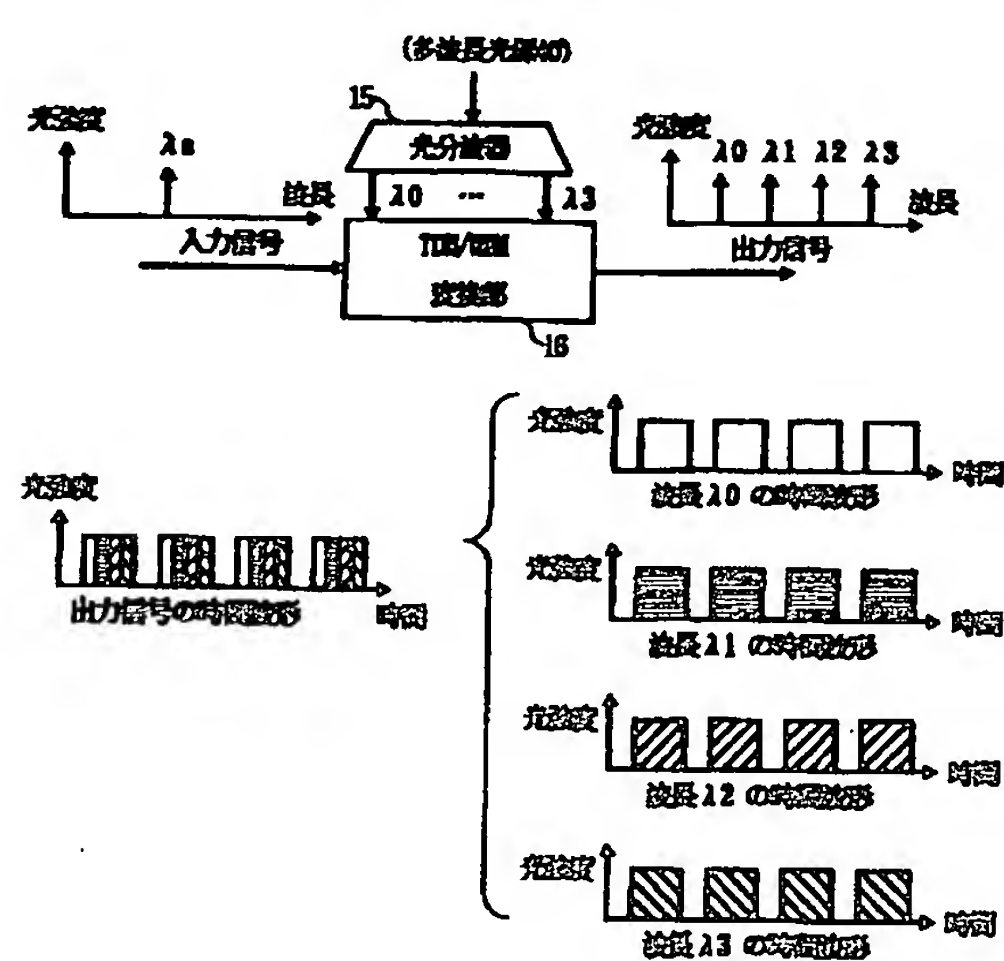
【図9】

本発明の波長多重ネットワークの第4の実施形態



【図14】

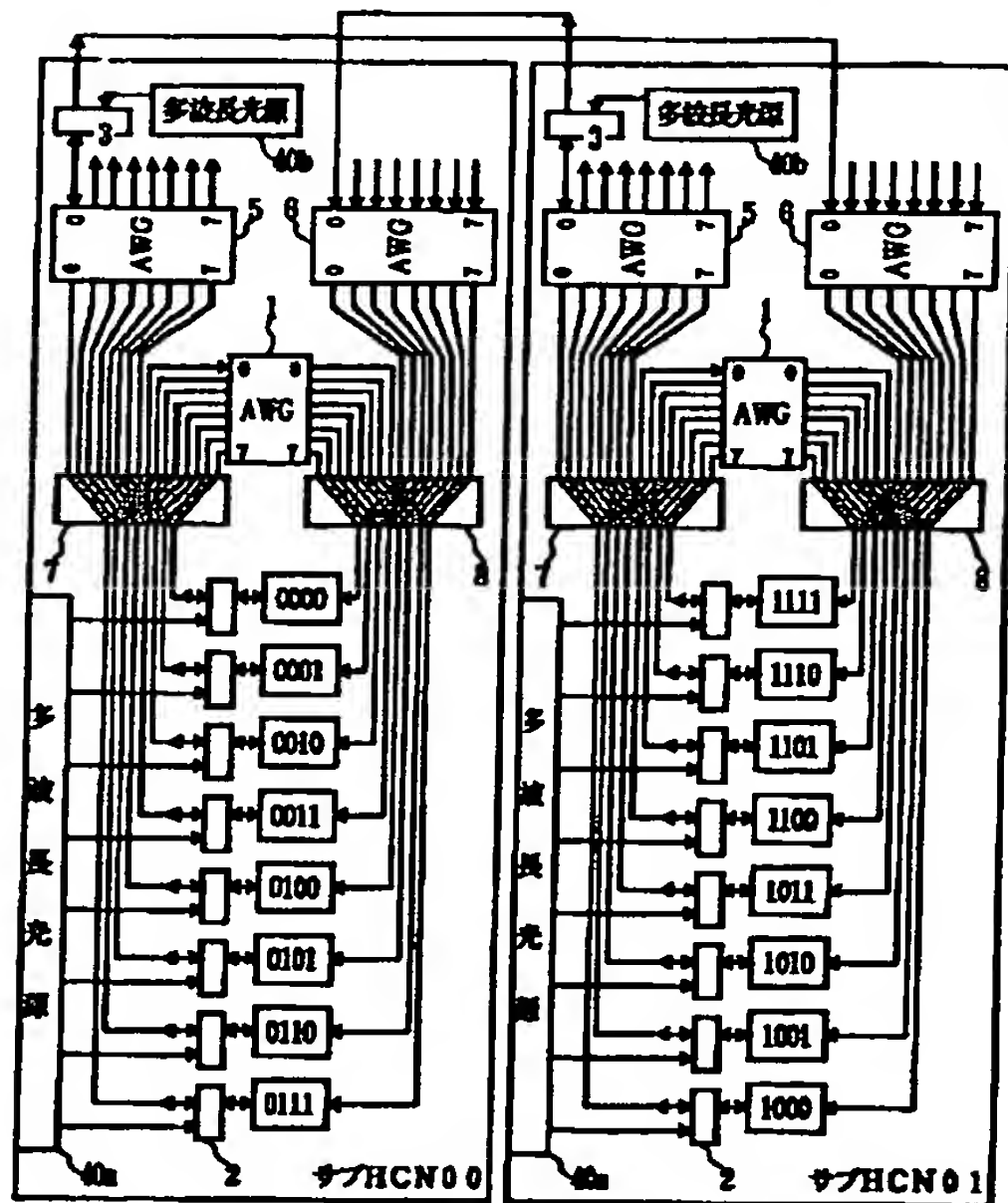
TDM/WDM 13 の構成例





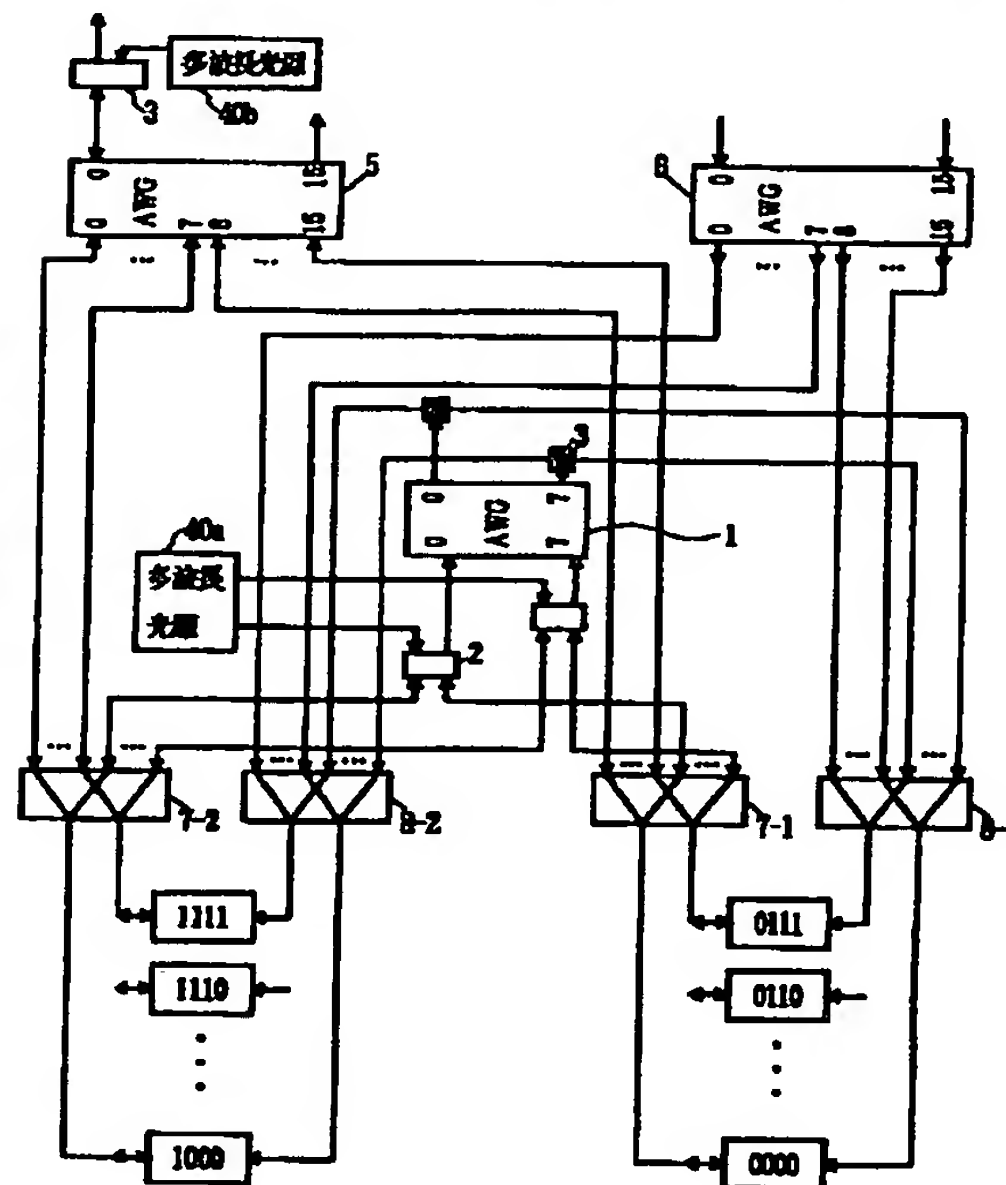
【図10】

本発明の波長多重ネットワークの第5の実施形態



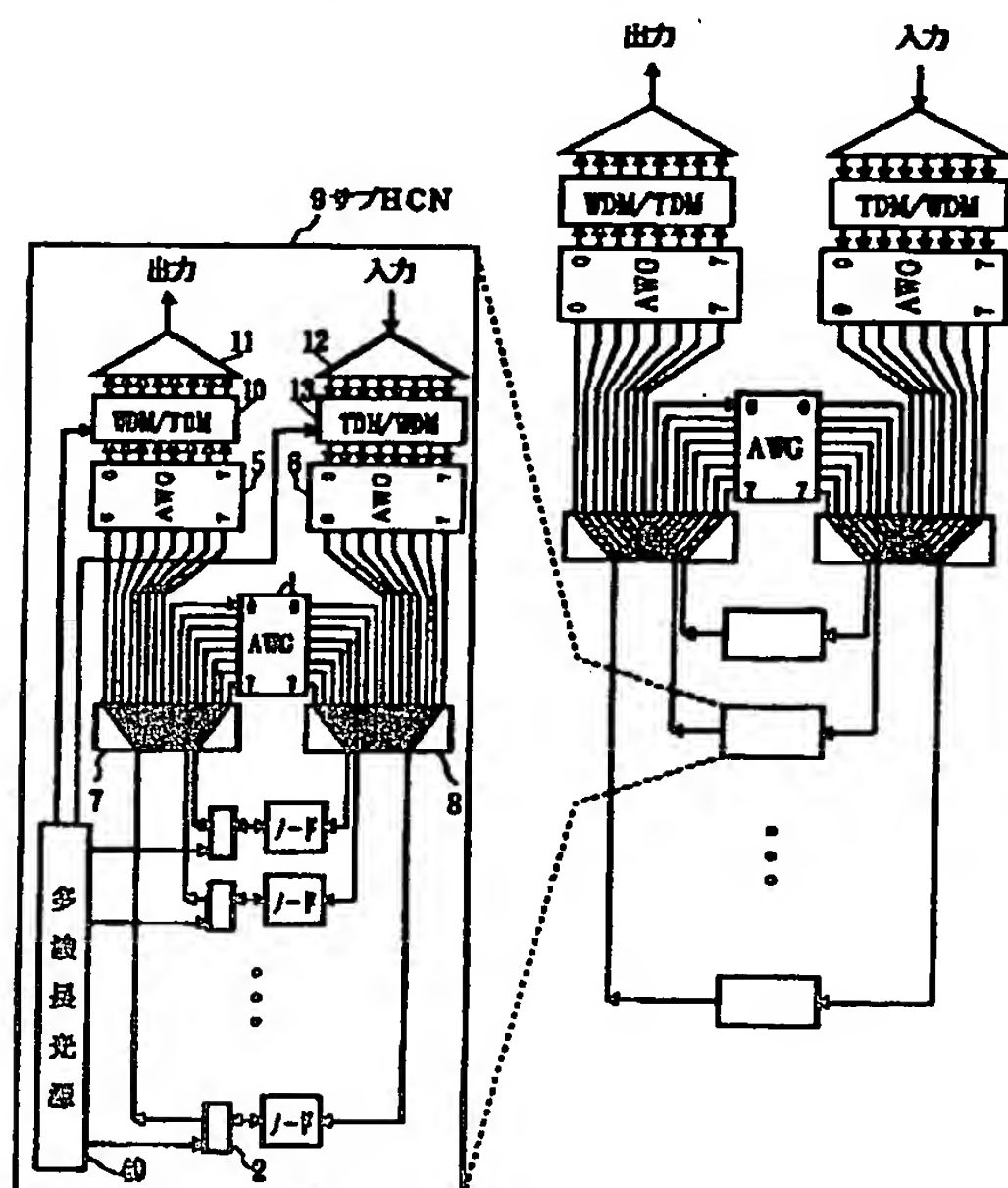
【図11】

第5の実施形態のサブHCNとして第2の実施形態の構成(図4)を適用した例



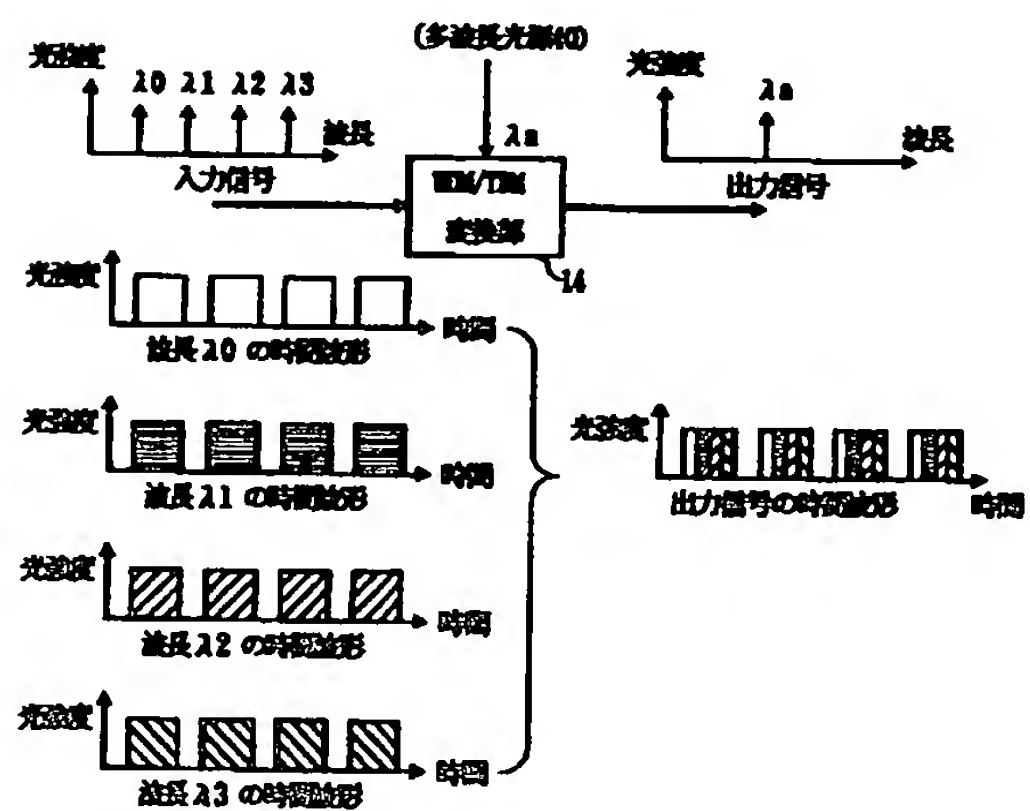
【図12】

本発明の波長多重ネットワークの第6の実施形態



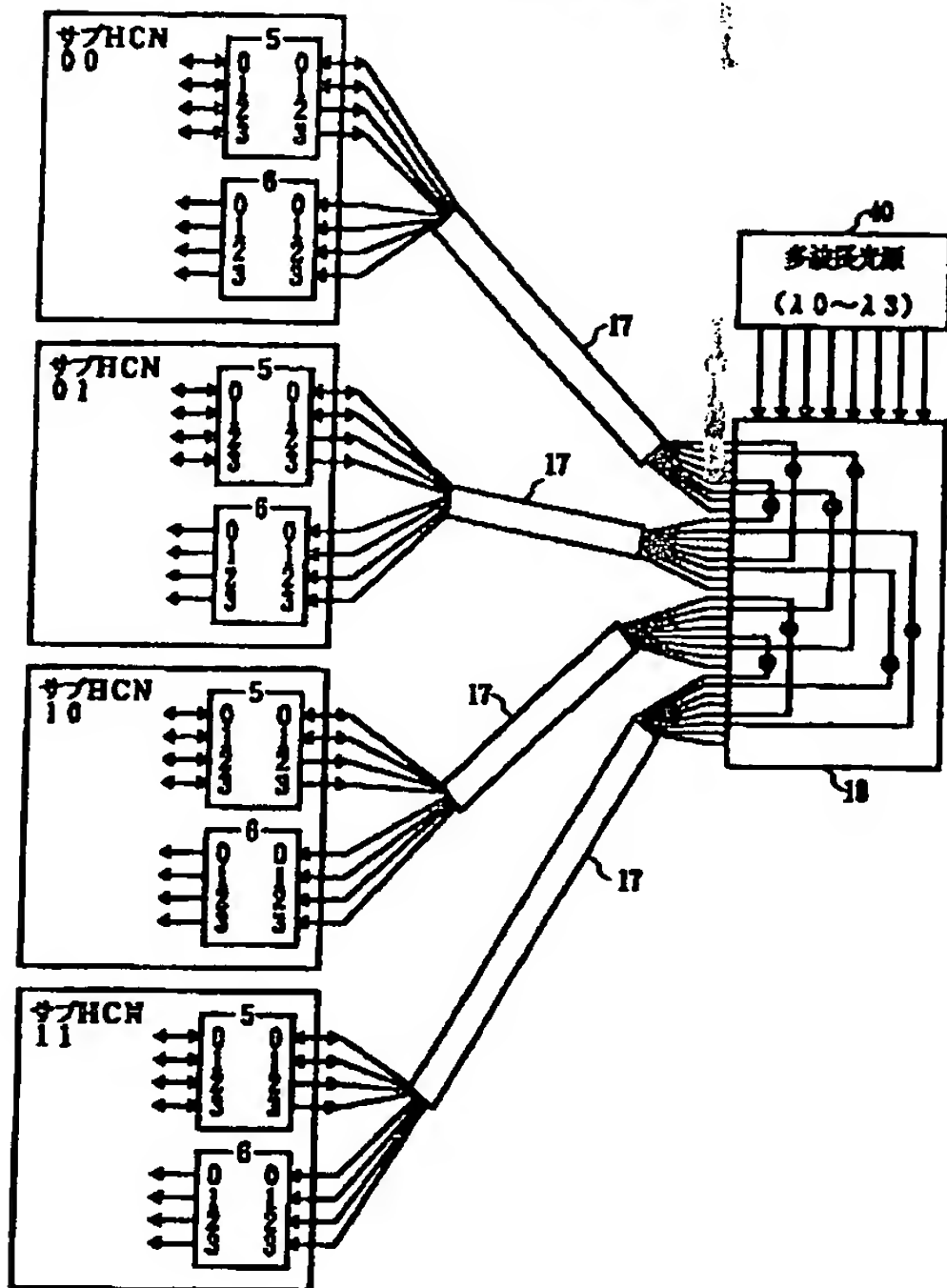
【図13】

WDM/TDM 10 の構成例



【図15】

本発明の波長多重ネットワークの第7の実施形態



【図20】

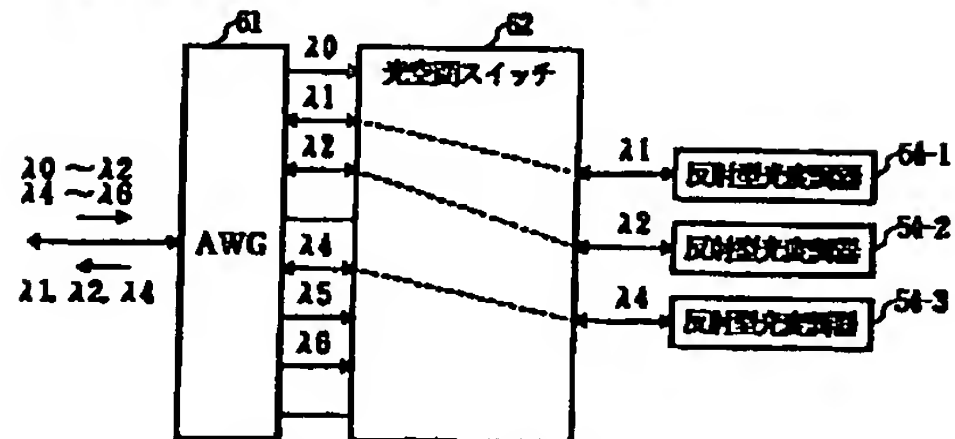
AWGの入出力ポート間の信号経路および各入出力ポートに接続されるノードの接続

出力 入力	出力								ポート
	0	1	2	3	4	5	6	7	
000	0	10	20	30	40	50	60	70	ポート
001	1	11	21	31	41	51	61	71	
010	2	12	22	32	42	52	62	72	
011	3	13	23	33	43	53	63	73	
100	4	14	24	34	44	54	64	74	
101	5	15	25	35	45	55	65	75	
110	6	16	26	36	46	56	66	76	
111	7	17	27	37	47	57	67	77	

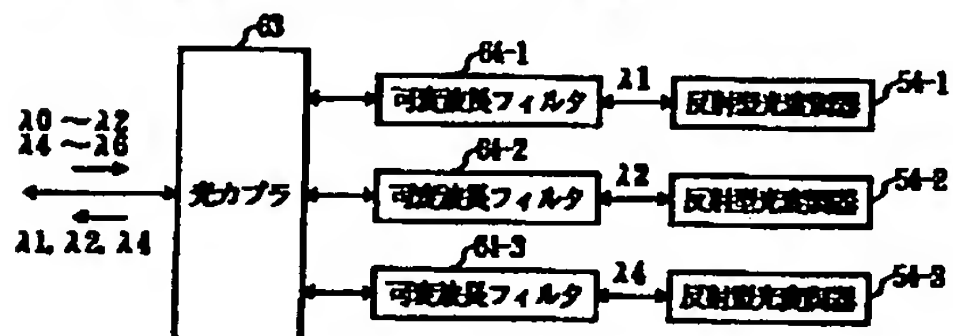
【図16】

光合分岐器54（光分岐器53）の構成例

(a) 第1の実施形態（図1）のノード000における構成



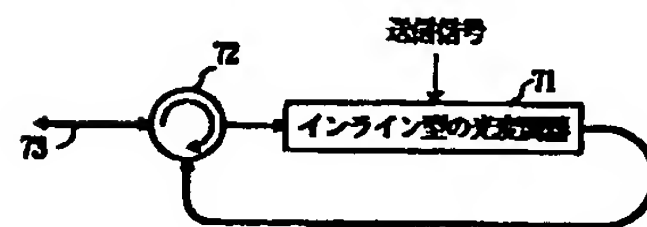
(b) 第1の実施形態（図1）のノード000における構成



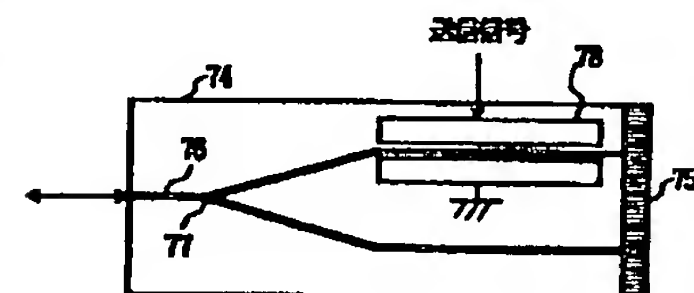
【図17】

反射型光変調器55の構成例

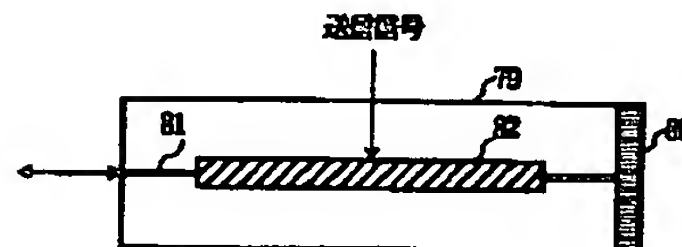
(a)



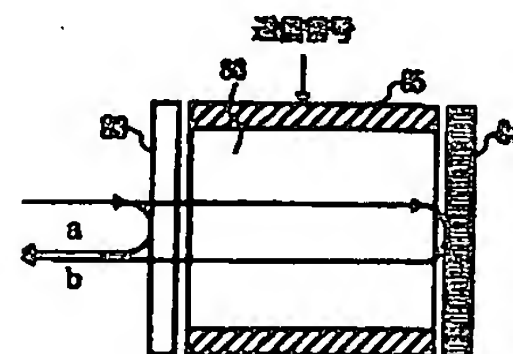
(b)



(c)



(d)



【図18】

WDM方式とAWGを組み合わせてHCNを実現する従来例

